

Timo Kekkonen

Lämpimän käyttöveden valmistukseen tarkoitettut hybridijärjestelmät liitettynä kaukolämpölaitteistoon

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyö

26.2.2017

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Timo Kekkonen Lämpimän käyttöveden valmistukseen tarkoitetut hybridijärjestelmät liitettynä kaukolämpölaitteistoon 55 sivua 26.2.2017
Tutkinto	Insinööri YAMK
Koulutusohjelma	Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	LVI
Ohjaaja(t)	Yliopettaja Aki Valkeapää Talotekniikan projektipäällikkö Jere Pirhonen
<p>Opinnäytetyön tilaaja on SRV Rakennus Oy. Energiatehokkuuden osalta määräykset tulevat kiristymään jatkossa portaittain, se haastaa koko alaa miettimään uusia ratkaisuita joilla energiatehokkuutta saadaan parannettua. Hybridijärjestelmät ja uusiutuva omavaraisenergia eivät ole vielä yleisiä järjestelmäratkaisuita asuinrakentamisessa, mutta tulevaisuudessa näiden osuus tulee kasvamaan. Yrityksessä nähtiin tarpeelliseksi selvittää näiden järjestelmien osalta sallittuja putkikytkentöjä kaukolämpölaitteistoihin, järjestelmien vaikutus rakennukselle tehtävään E-lukuun ja investointikustannukset.</p> <p>Työn lähdeaineistona on käytetty aiheeseen liittyviä verkkodokumentteja, sekä haastateltu aihealueiden ammattilaisia puhelimitse ja sähköpostein.</p> <p>Työssä saatiin laadittua tiivis kokonaisuus käsiteltyjen järjestelmien osalta. Lukijalle työ tarjoaa tietoa kaukolämpölaitteistoon liittymisestä hybridijärjestelmillä, järjestelmien vaikutuksen E- lukuun sekä investointikustannuksien osalta tietoa.</p>	
Avainsanat	Hybridijärjestelmät, energiatehokkuus, E-luku

Author Title	Timo Kekkonen Hybrid systems connected to district heating systems for domestic hot water production
Number of Pages Date	55 pages 26 February 2017
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Building Services Engineering
Instructors	Aki Valkeapää, Principal Lecturer Jere Pirhonen, Project Manager HVAC
<p>The purpose of this final year project was to see how hybrid system pipes can be connected to district heating systems in a legitimate way, how hybrid systems influence the E-value of a building, and what the technical requirements of hybrid systems are. Furthermore, the purpose was to increase the knowledge of hybrid systems.</p> <p>The project was carried out with interviews with local district heating companies and professionals in the field of HVAC. Moreover, manufacturer provided technical information of solar heating and sewage water heat recovery, the Finnish National Building Code, and hybrid systems were studied widely. E-value calculations were done according to the Finnish National Building Code, part D5.</p> <p>The project established that there are two permitted ways to execute pipe connections. The results of the calculations showed that a hybrid system can save energy for a reasonable price. A hybrid system's influence on the E-value is not significant, but the energy savings are notable. The results help in the design of energy saving systems and give knowledge about the technical requirements.</p>	
Keywords	Hybrid system, energy efficiency, E-value

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Energiatehokkuusmääräykset asuinkerrostalolle	2
2.1	EU:sta tulevia direktiivejä	2
2.2	Nykyiset kansalliset energiatehokkuusmääräykset asuinkerrostalolle	2
2.3	Lähes nollaenergia rakentamisen määräysluonnokset	3
3	Aurinkolämpöjärjestelmä	5
3.1	Aurinkoenergia	5
3.2	Auringon säteilymäärät	5
3.3	Aurinkokeräimet	6
3.3.1	Tasokeräimet	7
3.3.2	Tyhjiöputkikeräin	8
3.4	Aurinkokeräinjärjestelmän pääkomponentit	9
3.5	Aurinkokeräinjärjestelmän toiminta	11
4	Jäteveden lämmöntalteenotto	13
4.1	Jäteveden lämmön hyödyntäminen	13
4.2	Laitteistot asuinkerrostaloon	13
4.3	Ecowec-hybridivaihdin	16
4.4	Lämpöpumppu ja ecowec-hybridisiirrin	18
5	E-luku ja lämmin käyttövesi	20
5.1	Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve	20
6	Vaihtoehtoisia kytkentätapoja	24
6.1	K1/2013 kytkentä rinnakkaislämmölle	24
6.2	Lämmöntalteenoton ja aurinkolämmön sarjaankytkentä	25
6.3	Lämmöntalteenoton ja aurinkolämmön epäsuora sarjakytkentä	25
6.4	Aurinkolämmön ja lämmöntalteenoton rinnankytkentä	26
6.5	Lämmöntalteenoton ja lämpöpumpun rinnankytkentä	27
7	Mitoitukset ja laskenta	29
7.1	Kohdetiedot	29

7.2	Jäteveden lämmöntalteenotto	30
7.2.1	Tehon mitoitus jäteveden lämmöntalteenotto aurinkolämpökytkentä	30
7.2.2	Tehon mitoitus jäteveden lämmöntalteenotto lämpöpumppukytkentä	35
7.3	Varaajan mitoitus	38
7.3.1	Varaajan koon mitoitus aurinkolämpö kytkentä	38
7.3.2	Varaajan koon mitoitus lämpöpumppukytkentä	39
7.3.3	Varaajatyypin valinta aurinkolämpö	40
7.3.4	Varaajatyypin valinta lämpöpumppu	41
7.4	Aurinkokeräinjärjestelmän mitoitus	42
7.5	Lämpöpumpun mitoitus	43
7.5.1	Lämpöpumpun malli	43
7.5.2	Lämpöpumpun energian tuotto ja COP	45
8	Vaikutukset E-lukuun	48
8.1	Aurinkolämpöjärjestelmä	48
8.2	Jäteveden lämmöntalteenotto ja lämpöpumppu	49
9	Investointikustannukset	50
10	Yhteenveto	51
11	Pohdinta	52
	Lähteet	54

1 Johdanto

Rakentamisen energiatehokkuusmääräykset tiukkenevat portaittain lähitulevaisuudessa. Euroopan parlamentin ja neuvoston asettama rakennusten energiatehokkuusdirektiivi EBPD (Energy Performance of Buildings) asettaa jäsenmaat uudistamaan omaa lainsäädäntöään vastaamaan lähes nollaenergia rakentamiseen siirtymistä. RES (Renewable Energy Sources) - direktiivi määrittää uusiutuvan energian käytön lisäämistä rakennuksissa.

Suomessa lähes nollaenergiarakentamiseen on tarkoitus siirtyä vaiheittain. 31. päivänä joulukuuta 2018 kaikkien uudisrakennusten, jotka ovat viranomaiskäytössä ja omistuksessa, tulee täyttää kansallisen lähes nollaenergia vaatimustason. 31. päivänä joulukuuta 2020 kaikkien uudisrakennusten tulee täyttää kansallinen lähes nollaenergiavaatimustaso. Energiatehokkuusmääräysten kiristyminen edellyttää uusien energiatehokaiden ratkaisuiden käyttöönottamista rakennusalaalla.

Jäteveden lämmöntalteenotosta saadaan energiaa otettua talteen ympäri vuoden, minkä johdosta potentiaali on erittäin hyvä hyödyntää kyseistä ratkaisua käyttöveden esilämmityksessä tai vaihtoehtoisesti lämpöpumpun energialähteenä. Aurinkolämpö on uusiutuvaa energiaa, jonka hyödyntäminen tulee näkemykseni mukaan lisääntymään, kun siirytään lähes nollaenergiarakentamiseen. Näiden järjestelmien yhdistäminen asuinkerrostalossa on alalla uutta ja luo edellytyksiä hyvin vähän energiaa kuluttavien rakennusten toteuttamiselle.

Liittyäessä hybridijärjestelmillä kaukolämpölaitteistoihin ovat sallitut ja hyväksyttävät putkikytkennät olleet jokseenkin epäselviä. Rakennusten kaukolämmitysmääräykset ja ohjeet julkaisussa on esitetty muutama kytkentävaihtoehto.

Opinnäytetyön tavoite on selvittää aurinkolämpöjärjestelmän ja jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmän sekä jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmän ja lämpöpumpun yhdistämistä kaukolämpölaitteistoon kaukolämpöön liitettyssä asuinkerrostalossa käyttöveden lämmityksessä. Työssä käydään läpi vaihtoehtoisia kytkentätapoja ja teknisiä ratkaisumalleja sekä eri ratkaisuvaihtoehtojen investointikustannuksia ja ratkaisujen vaikutuksia E-lukuun. Investointikustannusten ja E-lukuvaikutusten vertailemiseksi molemmat hybridijärjestelmät suunnitellaan ja mitoitetaan ensin esimerkkikohteeseen.

Työ tehdään SRV Rakennus Oy:lle, SRV on yksi merkittävimmistä asuinkerrostalorakentajista Suomessa. Työ tulee antamaan pohjaa SRV Rakennus Oy:n lähitulevaisuuden perustajaurakointikohteiden teknisiin järjestelmävalintoihin.

2 Energiatehokkuusmääräykset asuinkerrostalolle

2.1 EU:sta tulevia direktiivejä

Kansallisten energiatehokkuusmääräysten kiristyminen johtuu Euroopan parlamentin ja neuvoston antamaan direktiiviin rakennusten energiatehokkuuden parantamisesta. Kyseinen direktiivi (2010/31/EU, EBCD) edellyttää uudisrakennusten siirtymistä lähes nollaenergia rakennuksiksi.

Kansalliset määräykset ovat astumassa voimaan siten että viranomaiskäytössä tai viranomaisten omistuksessa olevat uudisrakennukset tulee täyttää vaateet 31. päivä joulukuuta 2018. Kaikkien uudisrakennusten tulee täyttää lähes nollaenergiarakentamisen vaateet 31. päivänä joulukuuta 2020.

Lähes nollaenergiarakennuksella tarkoitetaan rakennusta, jolla on erittäin korkea energiatehokkuus, tarvittava hyvin vähäinen energiamäärä tulisi pääosin kattaa uusiutuvilla energioilla.

Direktiivi (2009/28/EY, RES-direktiivi), määrittää rakennuksille uusiutuvan energian käytön edistämistä.

Direktiivien asettamisen taustalla on vähentää energiankulutusta EU:n alueella.

Iso osa EU:n alueen energiankulutuksesta syntyy rakennuksissa, noin 40%:a, jonka johdosta energiatehokkuutta on pyritty lisäämään rakentamisessa. [1.] [2.]

2.2 Nykyiset kansalliset energiatehokkuusmääräykset asuinkerrostalolle

Tämän hetkiset rakennusten energiatehokkuusmääräykset astuivat voimaan 1. päivänä heinäkuuta 2012.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 on esitetty tämän hetkiset energia-tehokkuusmääräykset ja-ohjeet. Asuinkerrostalolle E-luku on nykyisessä D3:ssa 130 kWh/m² vuodessa lämmitettyä nettoalaa kohden.

E-luku kuvaa rakennuksen kokonaisenergiankulutusta, E-luku saadaan kertomalla vuotuinen ostoenergiankulutus energiamuotojen kertoimilla. Tämänhetkiset energiamuotojen kertoimet on esitetty taulukossa 1. [3, s.8.]

Taulukko 1. Tämän hetkiset energiamuotojen kertoimet.

sähkö	1,7
kaukolämpö	0,7
kaukojäähdytys	0,4
fossiiliset polttoaineet	1
rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5

E-luku on laskennallinen arvo, laskenta tulee tehdä D3:ssa esitettyjen laskentasääntöjen mukaisesti.

E-luvun avulla eri rakennuksia voidaan verrata toisiinsa standardi käytön mukaisilla kulutuslukemilla. E-luku laskenta tehdään D3:ssa annetuilla säätiedoilla.

Laskennassa käytetään säävyöhykkeen yksi säätietoja riippumatta siitä missä säävyöhykkeellä kohde sijaitsee.

2.3 Lähes nollaenergia rakentamisen määräysluonnokset

Ympäristöministeriö on lähettänyt esityksensä 14.3.2016 lähes nollaenergia rakentamisen säädöksiä luonnoksen lausunnoille.

Tavoite on saada lainmuutos voimaan 2017 alussa.

Ympäristöministeriö esittää uusissa asetusluonnoksissa asuinkerrostalon (luokka 2.) E-luvuksi 82 kWh/m² vuodessa lämmitettyä nettoalaa kohden.

Energiamuotojen kertoimia ollaan myös muuttamassa, taulukossa 2 esitetty uudet energiamuotojen kertoimet. [1;2.]

Taulukko 2. Uudet energiamuotojen kertoimet

sähkö	1,2
kaukolämpö	0,5
kaukojäähdytys	0,28
fossiiliset polttoaineet	1
rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5

Finzeb-hanke

Rakennusteollisuus RT ry:n, Talotekniikkateollisuus ry:n ja Ympäristöministeriön syksyllä 2013 alulle paneman hankkeen tarkoituksena oli luoda yhteinen näkemys lähes nollaenergiarakentamisen tasosta. Hankkeen tarkoituksena oli myös tuottaa tietoa tulevalle säädösvalmistelulle lähes nollaenergia rakentamiseen.

Finzeb hanke päättyi 31. päivänä maaliskuuta 2015. Loppuraportin esityksessä asuin-kerrostalojen E-luvuksi esitettiin 116 kWh/m² vuodessa lämmitettyä nettoalaa kohden, nykyisillä energiamuotojen kertoimilla.[4.]

Energiamuotojen kertoimien vaikutukset E-lukuun

Finzeb-hankkeen esitys 116 kWh/m² kiristäisi asuin-kerrostalossa E-lukua 14 E-lukuyksikköä nykyisiin määräyksiin nähden. Uudet säädökset kiristävät asuin-kerrostalossa E-lukua 48 E-lukuyksikköä. Muutos ei ole näin suuri, jos ostoenergiakertoimet muuttuvat ylempänä esitetyn mukaisiksi.

Kaukolämmön ja sähkön osalta voidaan korjauskertoimena käyttää 0,71. Korjauskertoimella kerrottuna voimassa olevien määräysten mukainen E-luku saadaan uusien energiamuotokertoimien mukainen E-luku. E-luku vaade kiristyisi 11 % luokan 2 asuin-kerrostalojen osalta. Asetusluonnosten mukainen taso on samaa tasoa kuin Finzeb-hanke on esittänyt.

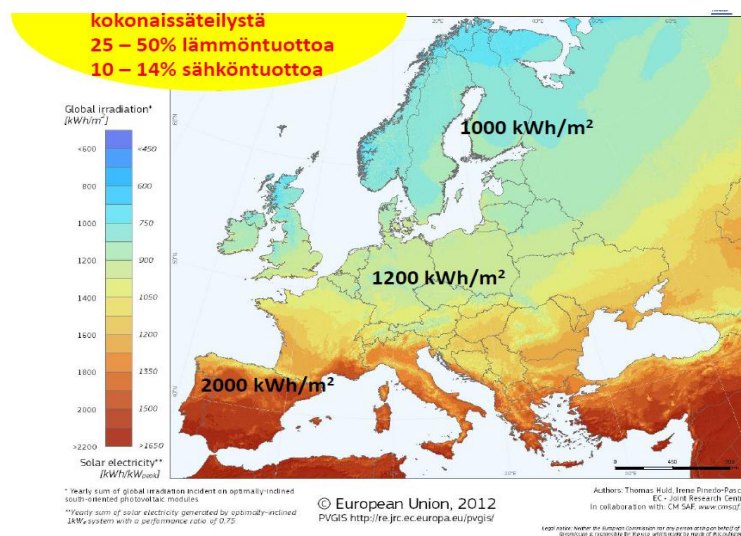
3 Aurinkolämpöjärjestelmä

3.1 Aurinkoenergia

Aurinkoenergia termillä tarkoitetaan auringosta saatavan säteilyenergian hyödyntämistä joko lämmitysenergiaksi tai sähköenergiaksi. Aurinkoenergia jaetaan yleisesti kahteen ryhmään, suoraan ja epäsuoraan. Epäsuoraksi aurinkoenergiaksi luetaan muun muassa rakenteisiin varastoituva lämpö, tuulienergia ja aaltoenergia. Suora aurinkoenergia on säteilyn muuttamista suoraan sähköenergiaksi tai lämmitysenergiaksi. Sähköenergian osalta säteily muutetaan sähköenergiaksi aurinkosähköpaneelilla ja lämmitysenergian osalta aurinkokeräimillä. [5.]

3.2 Auringon säteilymäärät

Etelä-Suomessa vuotuinen säteilymäärä on vastaavalla tasolla kuin Saksassa. Saksassa aurinkoenergian hyödyntäminen on yleisempää Suomeen verrattuna. Suomen pitkä talvi on aurinkoenergian osalta haasteellinen koska tällöin aurinkoenergiaa on vähän hyödynnettävää. Kuvassa 1 on esitetty vuotuisia kokonais-säteilymääriä.

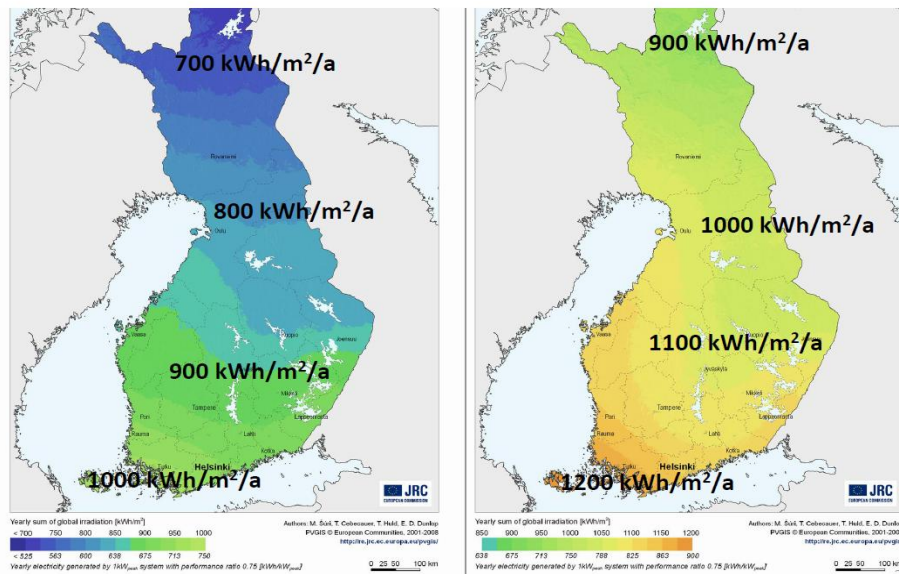


Kuva 1. Vuotuisia kokonais-säteilymääriä. [6.]

Suomessa vuotuinen vaakasäteily vaihtelee 800–1000 kWh/m². Säteilyn vuotuinen määrä Suomessa maantieteellinen sijainti huomioiden on esitetty kuvassa 2.

Kokonaissäteily vaakatasoon Auringonsäteily optimaalisella kulmalla

Vuotuinen säteily määrä Suomessa



Kuva 2. Suomen vuotuisia säteilymääriä. [6.]

3.3 Aurinkokeräimet

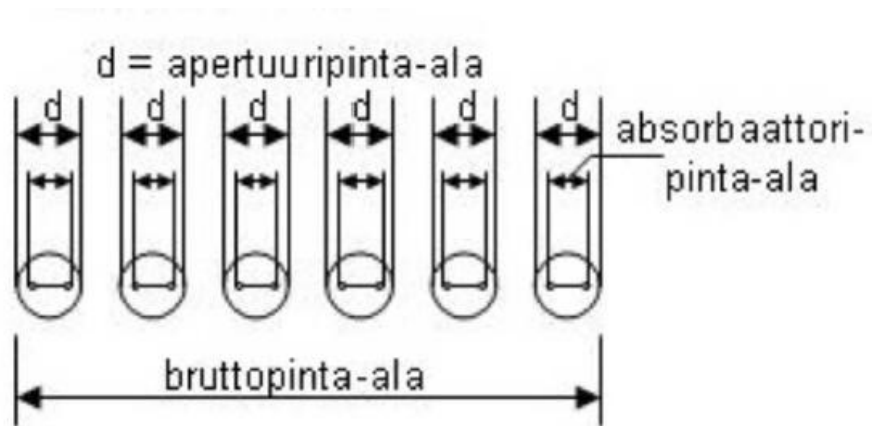
Suomessa yleisimmin käytetyt keräintyytit ovat tasokeräimiä tai tyhjiöputkikeräimiä. Molemmissa keräintyyteissä kerätään absorptiopinnan avulla lämmönsiirtonesteeseen auringosta tuleva säteilyenergia. Lämmönsiirtonesteeseen siirretty lämpöenergia siirretään putkistolla joko suoraan hyödynnettäväksi tai sitä voidaan varastoida varaajaan. Aurinkokeräimien ilmoitettuja pinta-aloja ovat bruttoala, apertuuripinta-ala ja absorptiopinta-ala.

Bruttopinta-alaa tarvitaan kun määritetään keräimien tarvitsemia tilantarpeita. Apertuuripinta-ala kertoo alan jolla keräin ottaa auringon säteilyn vastaan. Absorptiopinta-ala kertoo pinta-alan, johon säteily absorboituu, kuvassa 3 on esitetty tasokeräimen pinta-alat. Kuvassa 4 on esitetty tyhjiöputkikeräimen pinta-alat.

Keräimen tulee olla korroosiosuojattu, jos asennuspaikan etäisyys merenrannasta on alle 100 metriä, korroosiosuojaa suositellaan myös etäisyyden ollessa 100 metriä–1 km meren rannasta. [7.]



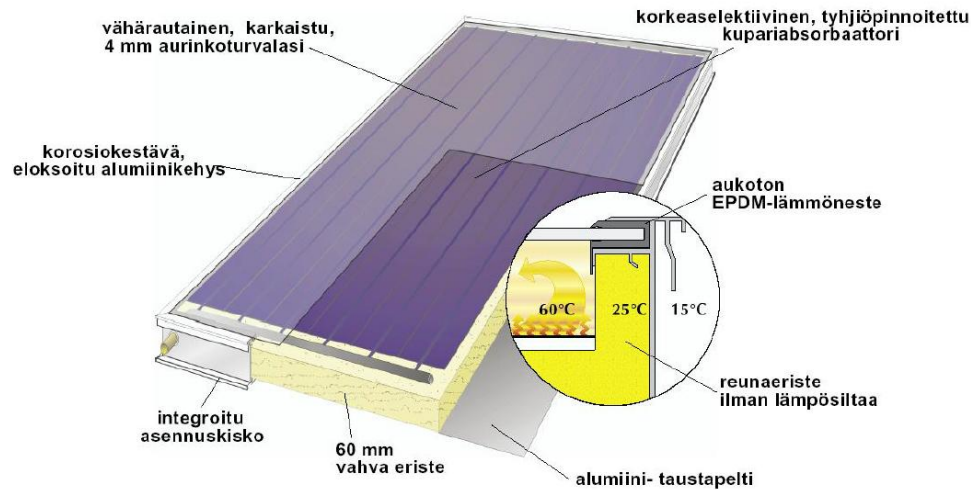
Kuva 3. Tasokeräimen pinta-alat. [6.]



Kuva 4. Tyhjiöputkikeräimen pinta-alat. [5.]

3.3.1 Tasokeräimet

Tasokeräimillä saadaan hyödynnettyä suoraa säteilyä sekä hajasäteilyä. Tasokeräimen optimi kallistuskulma on noin 41–49 astetta, suuntauksen tulisi olla etelään. Kuvassa 5 on esitetty tasokeräimen rakenne. Tasokeräimen pinnassa olevan lasi suojaa keräintä ulkoisilta haittatekijöiltä. Lasin tarkoitus on myös päästää auringon lyhytaaltoinen säteily läpi ja heijastaa absorptiotasosta heijastunut pitkäaaltoinen säteily keräimeen takaisin.

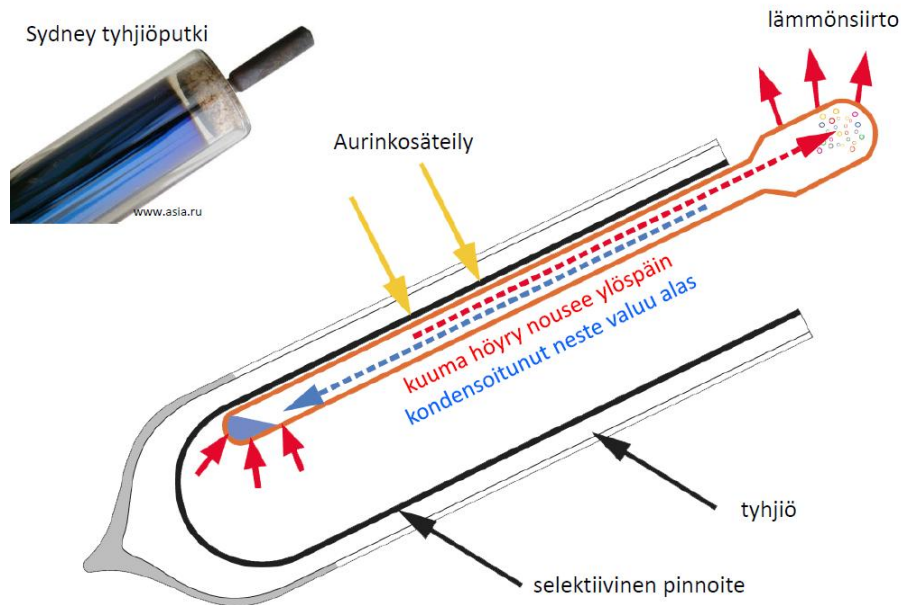


Kuva 5. Tasokeräimen rakenne. [6.]

3.3.2 Tyhjiöputkikeräin

Tyhjiöputkikeräimellä saadaan hyödynnettyä hajasäteilyä paremmin kuin tasokeräimellä. Hajasäteilyn paremman hyödyntämisen takia tyhjiöputkikeräimillä saadaan kerättyä keväällä ja syksyllä paremmin lämpöenergiaa tasokeräimiin nähden. Tuotto on noin 30 % neliometriä kohden enemmän kuin tasokeräimillä.

Keräimessä on kaksi lasista putkea sisäkkäin joiden välissä on tyhjiö, sisemmän putken sisällä on Heat pipe, kuvassa 6 on esitetty putken toimintaperiaate. Sisemmän putken pinnassa on absorptiopinta, josta lämpö johtuu Heat pipe-putkeen. [6.]

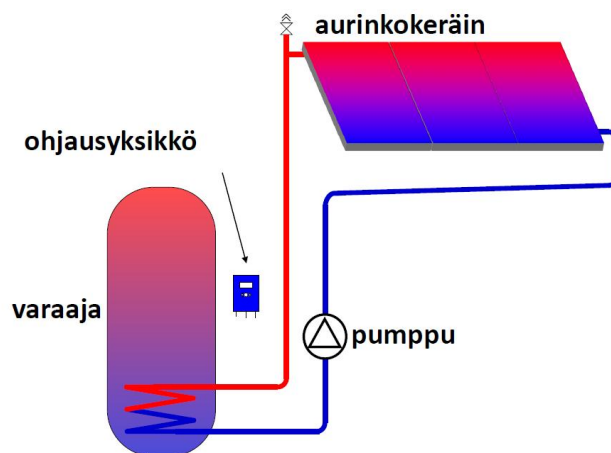


Kuva 6. Heat pipe-putken toimintaperiaate.[6.]

Putkien välissä oleva tyhjiö toimii erinomaisena lämmöneristeenä, tyhjiön hyvän lämmöneristävyyden takia putken lämpöhäviöt eivät talvella sulata niiden pinnalle kertynyttä lunta. Asennuskulmana tulisi olla noin 60–90 astetta. Jyrkän asennuskulman johdosta lumi ei myöskään pääse kerääntymään haittaavasti keräimiin.

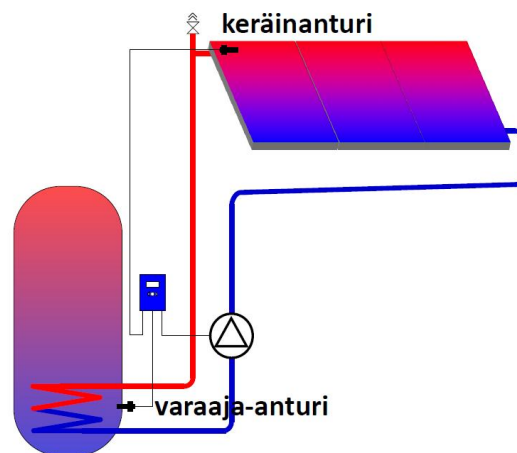
3.4 Aurinkokeräinjärjestelmän pääkomponentit

Aurinkokeräinjärjestelmän pääkomponentteja ovat aurinkokeräin, varaaja, ohjausyksikkö, pumppuyksikkö, keräinanturi, varaaja-anturi ja paisuntaryhmä nämä pääkomponentit ovat esitetty kuvassa 7, kuvassa 8, kuvassa 9 ja kuvassa 10.



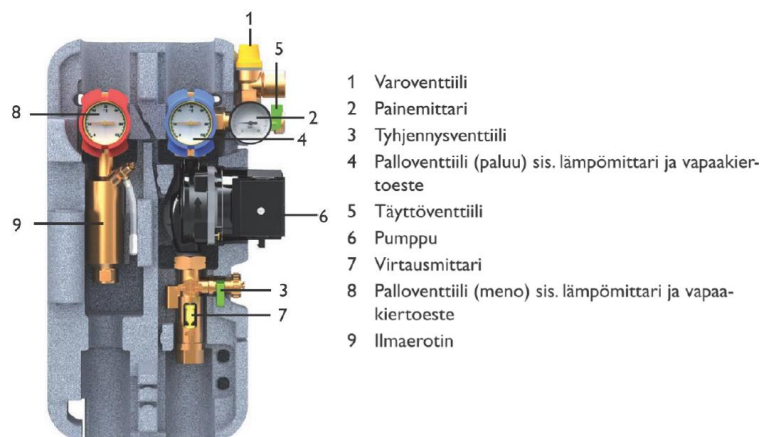
Kuva 7. Keräinjärjestelmän pääkomponentteja. [6.]

Aurinkolämpöjärjestelmän pääantureita ovat keräinanturi ja varaaja-anturi. Keräinanturilla saadaan mitattua lähtevän liuoksen lämpötilaa. Varaaja-anturi mittaa varaajan vedenlämpötilaa, molempien antureiden mittaustuloksen perusteella ohjataan liuospiirin pumppua.



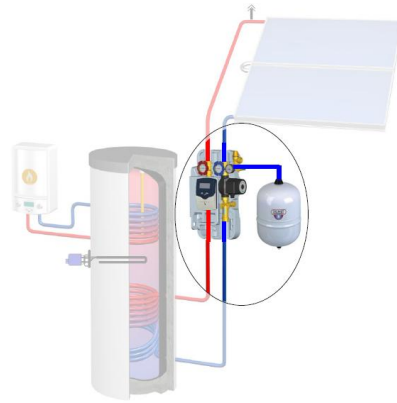
Kuva 8. Keräinjärjestelmän pääanturit. [6.]

Kuvassa 9 on integroitu pumppuyksikön komponentit valmiiksi kokonaisuudeksi, mikä helpottaa ja nopeuttaa asennustyötä.



Kuva 9. Pumppuyksikön komponentteja. [6.]

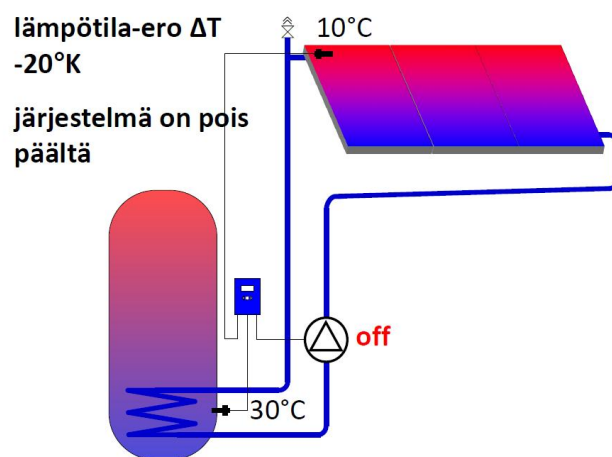
Liuospiiri tulee aina varustaa paisuntaryhmällä, paisuntaryhmä tulee varustaa paisunta-astialla, painemittarilla ja varoventtiilillä. Paisuntaryhmän läheisyyteen tulee myös asentaa täyttöastia verkoston täyttämistä varten sekä täyttöpumppu. Varoventtiilit putkitetaan täyttöastiaan.



Kuva 10. Pumppuyksikkö ja paisunta. [6.]

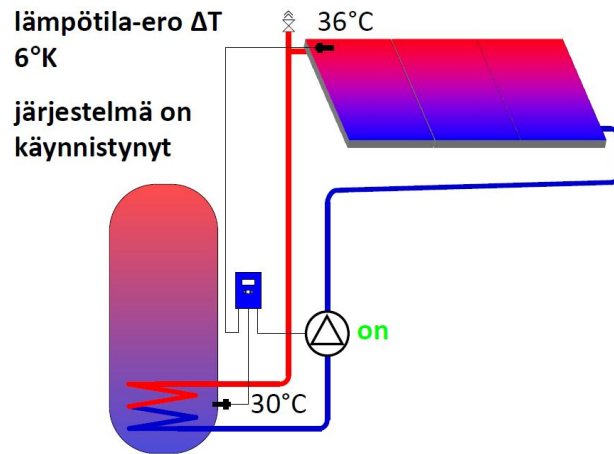
3.5 Aurinkokeräinjärjestelmän toiminta

Kuvassa 11 on keräinanturin mittaustulos pienempi kuin varaajan alaosan lämpötila jolloin ohjainyksikkö on ohjannut pumpun pois päältä. Kuvassa 11, kuvassa 12, kuvassa 13 ja kuvassa 14 esitetään aurinkokeräinjärjestelmän toimintaperiaate keräimen ja varaajan lämpötilaeroihin perustuen.



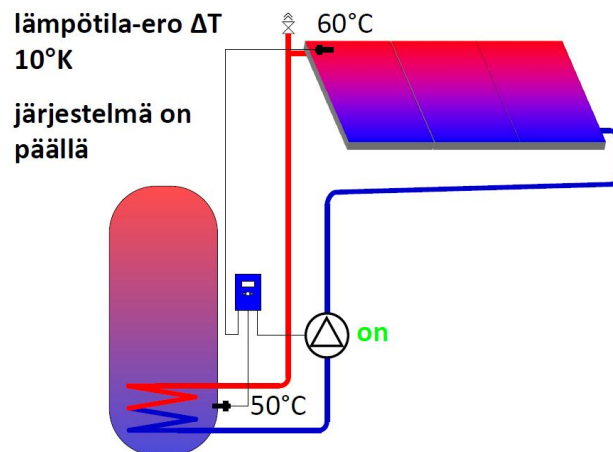
Kuva 11. Järjestelmä pois päältä. [6.]

Kuvassa 12 keräinanturin mittaustulos on kuusi astetta korkeampi kuin varaaja-anturin, ohjainyksikkö ohjaa pumpun päälle ja liuosta ruvetaan kierrättämään varaajassa.



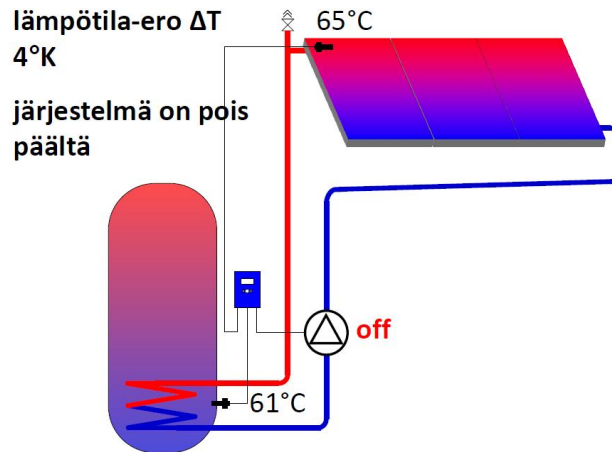
Kuva 12. Järjestelmä käynnistynyt. [6.]

Kuvassa 13 varaajan lämpötila on noussut 50 asteeseen, lämpötilaeroa keräimiltä lähtevän liuoksen ja varaajan alaosan välillä on vielä 10 astetta, jolloin järjestelmä on vielä päällä.



Kuva 13. Järjestelmä päällä. [6.]

Kuvassa 14 lämpötilaero keräimiltä lähtevän liuoksen ja varaajan alaosan välillä on pienentynyt 4 asteeseen, jolloin ohjainyksikkö ohjaa pumpun pois päältä.



Kuva 14. Järjestelmä sammuu. [6.]

4 Jäteveden lämmöntalteenotto

4.1 Jäteveden lämmön hyödyntäminen

Jätevesi on yksi vähän hyödynnettyjä energiavirtoja rakennuksesta ulospäin. Kiinteistöjen päässä jätevedestä saatavaa lämmitysenergiaa ei hyödynnetä juuri ollenkaan. Isommassa mittakaavassa Suomessa on muutamia lämpöpumppulaitoksia jotka hyödyntävät jäteveden lämpöenergiaa. Esimerkiksi Fortumin Espoon Suomenojalle vuoden 2015 alussa valmistunut lämpöpumppulaitos hyödyntää kiinteistöjen jätevesistä saatavaa lämpöenergiaa kaukolämmitykseen.

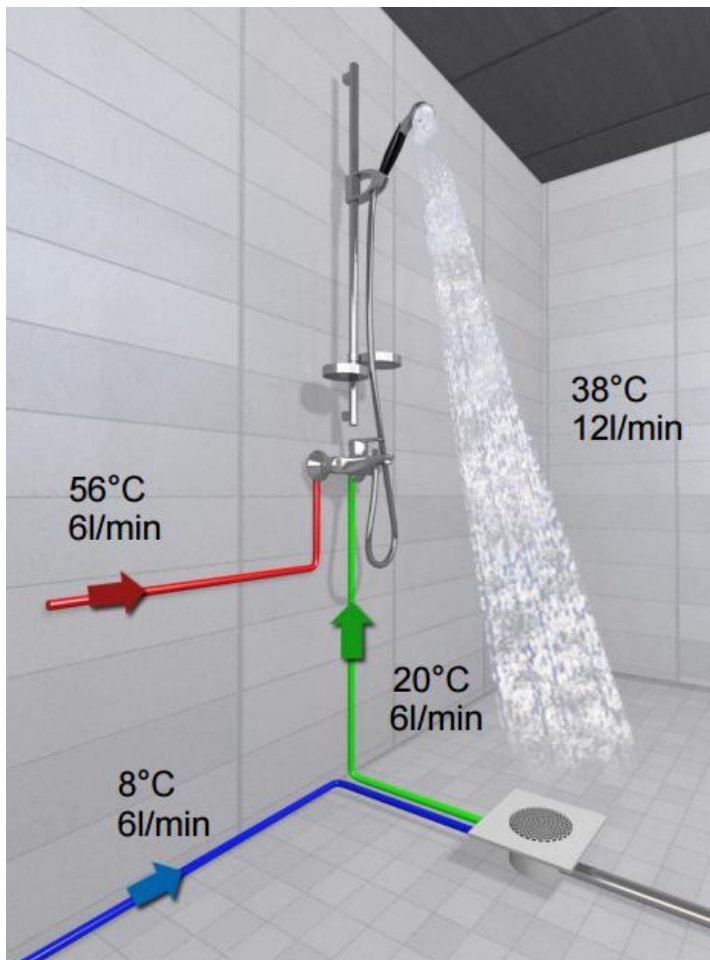
Itse näen asuinkerrostaloissa jäteveden lämmöntalteenotossa hyvän potentiaalin vähentää kiinteistön ostoenergiaa, jota käytetään tällä hetkellä liian vähän hyväksi.

4.2 Laitteistot asuinkerrostaloon

Asuinkerrostalo kohteisiin kiinteistön päässä käytettäviä jäteveden lämmöntalteenotto-laitteistoja on markkinoilla verrattain vähän potentiaalin nähden mitä jätevedestä olisi mahdollista kerätä lämpöenergiaa talteen. Osa järjestelmistä soveltuu ainoastaan harmaiden jätevesien hyödyntämiseen. Kyseiset järjestelmät vaatisivat erillisviemärintijärjestelmän, jonka johdosta en näe näiden käyttämistä asuinkerrostalossa järjestelmän investointikustannuksien kannalta järkevänä.

Suihkuveden lämmöntalteenottoon löytyy tuotteita muun muassa Ensavetec Oy:ltä. Ensavetecin järjestelmässä suihkuvedestä saatava lämpö otetaan talteen suihkukaapin alle sijoitettavalla lämmöntalteenotolla, jonka läpi sekoittajalle tuleva kylmävesi kierrätetään.

Heatex System tarjoaa myös suihkuveden lämmöntalteenottoa, Heatex Systemin tuotteessa lattiakaivoon on integroitu lämmöntalteenotto, sekoittajalle tuleva kylmävesi kiertää lämmöntalteenoton kautta sekoittajalle. Kuvassa 15 on esitetty Heatex Systemin toimintaperiaate.



Kuva 15. Heatex Systemin toimintaperiaate. [8.]

Markkinoilla on myös tuotteita, joissa kylmävesiputki kiertää viemärin ympärillä ja lämpöenergia johtuu välipintojen avulla kylmään veteen. Kuvassa 16 on esitetty kyseinen järjestelmä lattialle asennettuna.



Kuva 16. Lattialle asennettu talteenotto yksikkö.

Kuvassa 17 on esitetty Kanadalaisen ReThermin lämmöntalteenottoyksikkö. Seinälle asennettuna kyseinen lämmöntalteenottolaitte ei vaadi suurta tilavarausta



Kuva 17. ReTherm lämmöntalteenotto. [9.]

Wasenco Oy:n kehittämä Ecowec-hybridivaihdin soveltuu harmaiden jätevesien ja mustien jätevesien hyödyntämiseen eikä vaadi erillisviemäröintijärjestelmää. Työssäni tulen käyttämään Wasenco Oy:n Ecowec-hybridivaihdinta jäteveden lämmöntalteenottolaitteistona.

4.3 Ecowec-hybridivaihdin

Toimintaperiaate

Ecowec-hybridivaihdin on lahtelaisen Wasenco Oy:n valmistama tuote. Toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen. Säiliön sisällä kiertää spiraalin muodossa 114,3 mm:n Rst-putki, jätevesi menee spiraalin lävitse painovoimaisesti tai vaihtoehtoisesti pumppaamalla. Jätevesi luovuttaa lämmön säiliössä olevaan väliaineeseen, joka luovuttaa lämmön kylmään käyttöveteen. Käyttöveden esilämmityksessä käytetään lisälämmönvaihdinta, lisälämmönvaihtimen avulla saadaan kaksi lämmönsiirtopintaa käyttöveden ja jäteveden välille. Kahdella lämmönsiirtopinnalla estetään lämmönsiirtopinnan rikkoutuessa käyttöveden ja jäteveden sekoittuminen. Kuvassa 18 on esitetty Wasencon jäteveden lämmöntalteenottosäiliö.



Kuva 18. Jäteveden lämmöntalteenotto säiliö. [10.]

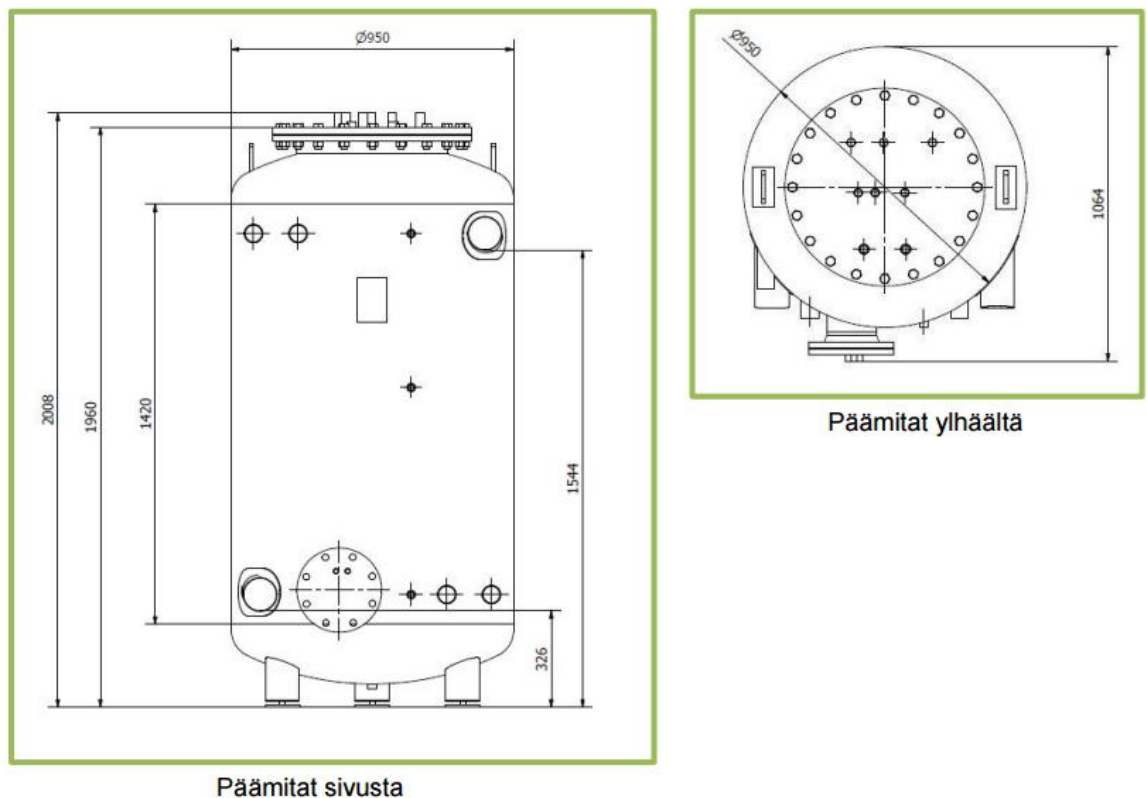
Käyttökohteet

Ecowec-hybridivaihdin soveltuu kohteisiin, joissa syntyy jätevettä runsaasti, kuten asuin-kerrostalot, hotellit, uimahallit, kylpylät ja teollisuuslaitokset. Tuote soveltuu uudiskohteisiin sekä saaneerauskohteisiin, eikä vaadi erillisviemärointiä harmaiden jätevesien ja mustien jätevesien osalta. Hybridivaihdin soveltuu myös lämpöpumppukohteisiin, jätevedestä saatua lämpöä voidaan käyttää lämpöpumpun primääripuolella. Lämpöpump-

pukyt kennässä jätevedestä saatu energia siirretään väliaineeseen, lämpöpumppu kiertää väliainetta primääripuolella keräten jäteveden luovuttaman lämpöenergia väliaineesta.

Tekniset tiedot

Ecowec-hybridivaihdin tarvitsee lattiapinta-alaa noin yhden neliömetrin, säiliön korkeus on 2008 mm ja halkaisija 950 mm. Hybridivaihtimen tilavuus on 996–1036 litraa, säiliön materiaali on Rst/Hst ja paineluokka on PN4. Käyttövesisiirtimen ja jätevesiputken paineluokka on PN10. Säiliössä on säätöjalat sekä kaksi nostokoukkuja kannessa. Yhdellä hybridivaihtimella saadaan käsiteltyä noin 60 asunnon jätevedet, hybridivaihtimia on mahdollista asentaa rinnan tai sarjaan mikä mahdollistaa myös isommissa kohteissa hybridivaihtimen käytön. Tuotteen käyttöikä on 40–50 vuotta. Täysin varusteltuna hybridivaihtimen paino on 425 kg. Tuote ei tarvitse sähköä toimiakseen, kuvassa 19 on esitetty säiliön päämitat. [10.]



Kuva 19. Jäteveden lämmöntalteenotto säiliön päämitat. [10.]

Liitynnät

Kannessa on kaksi DN 20-yhdettä täyttöä ja varoventtiiliä varten, käyttöveden kytkentöjä varten on kaksi DN 50-yhdettä joiden paineluokka on PN10. Säiliön sivussa on neljä DN 50-yhdettä joko lämpöpumpun primääripiirille tai sähkövastukselle, pohjassa on tyhjennystä varten yksi $\frac{3}{4}$ ":n yhde. Lämpötilamittauksia varten säiliön edessä on kolme $\frac{1}{2}$ ":n yhdettä. Jätevesikytkentöjä varten on kaksi 114,3 mm:n panta/laippayhdettä, joiden paineluokka on PN10. [10.]

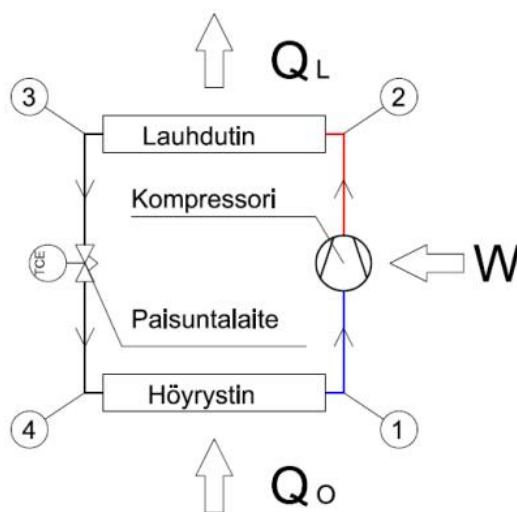
Energiatehokkuus

Valmistajan mukaan tuotteen takaisinmaksuaika on 0–10 vuotta, vuosihyötysuhde jätevedestä talteen otetusta lämpöenergiasta on valmistajan mukaan 30–70 %. Tuotteeseen pystyy liittämään monia eri järjestelmiä, joilla saadaan parannettua kohteen energiatehokkuutta. [10.]

4.4 Lämpöpumppu ja ecowec-hybridisiirrin

Lämpöpumpun pääkomponentit

Lämpöpumpun pääkomponentteja ovat höyrystin, kompressor, lauhdutin ja paisunta-venttiili. Kyseiset pääkomponentit hoitavat kylmäaineprosessin, pääkomponentit ovat samat on käyttötarkoitus lämmittäminen tai jäähdyttäminen.



Kuva 20. Lämpöpumpun pääkomponentit. [11.]

Lämpöpumpun toimintaperiaate

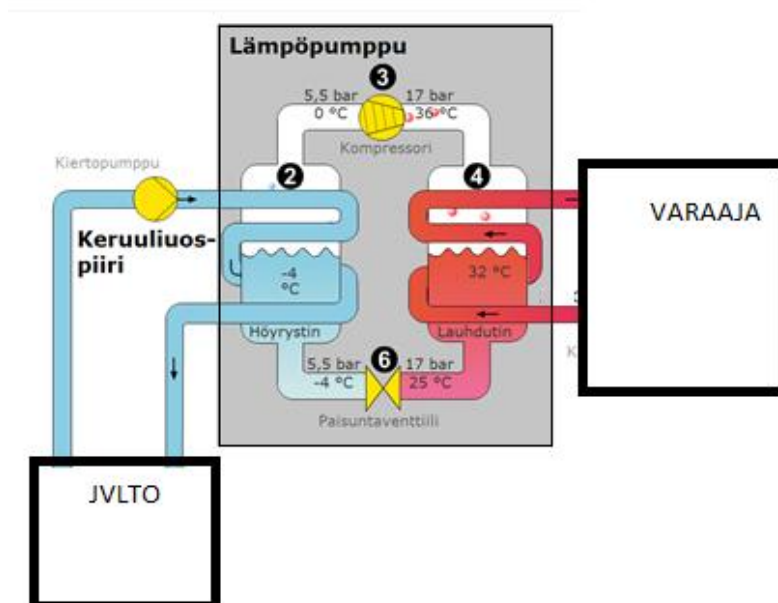
Prosessissa kylmäaine höyrystyy höyrystimessä. Höyrystyminen vaatii lämpöä, tässä tapauksessa lämpö otetaan hybridisiirtimen vaippanesteestä. Höyry ja siihen sitoutunut lämpö menevät kompressoriin, joka puristaa sen korkeampaan paineeseen, jolloin myös höyryn lämpötila nousee. Lauhduttimessa höyry lauhtuu ja nesteytyy, lauhduttimessa vapautuu myös siihen sitoutunut lämpö. Lauhduttimen jälkeen kylmäaine menee nestemäisenä paisuntaventtiiliin, mikä alentaa myös kylmäaineen painetasoa sekä säättää lauhduttimelta höyrystimelle tulevaa virtaamaa.

Lämpöpumpun toimintaperiaate hybridisiirtimen rinnalla

Käytettäessä lämpöpumppua ecowec-hybridisiirtimen kanssa ei lämmintä käyttövetä esilämmitetä hybridisiirtimessä lainkaan. Jätevedestä saatava lämpöenergia siirretään väliaineeseen, jota kierrätetään lämpöpumpun primääripuolella. Lämpöpumppukytkenässä tulee huomioida että väliaineen lämpötila ei laske liian alhaiseksi, työssäni lähtökohtana on pitää väliaine neljä asteisena.

Lämpötilan laskiessa alle nollan asteen on mahdollista, että jäteveden spiraaliin sisäpintaan rupeaa kerrostumaan jäätä, tämän johdosta lämpötila tulee rajoittaa vähintään yhteen asteeseen. Pääkaupunkiseudulla Helsingin seudun ympäristöpalvelut edellyttää, että jäteveden lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen ei saa laskea kiinteistöön tulevan kylmän veden lämpötilaa alhaisemmaksi.

Kuvassa on 21 esitetty periaatteellinen kaavio lämpöpumpun toiminnasta hybridisiirtimen rinnalla. Lämpöpumppu kytkennässä jäteveden lämmöntalteenoton väliaineena käytetään etanolin ja veden seosta, jossa etanolia on 30 % ja vettä 70 %.



Kuva 21. Toimintaperiaate. [12.]

Lämpöpumpun tulee olla invertterimallinen, jolloin keruupiirin virtaamaa pystytään säättämään kulloisenkin tarpeen mukaisesti. Keruunesteen lämpötilalle tulee asettaa kaksi alaraja-arvoa. Lämpötilan laskiessa alle ensimmäisen alarajan pumppu alentaa automaattisesti tehoa. Jos toinen asetusarvo alittuu pysähtyy, keruupiirin pumppu kokonaan. Vaipanesteen lämpötilan laskiessa liian alhaiseksi käytetään rinnalla olevaa kaukolämpöä käyttöveden lämmittämiseen. Vaipanesteen lämpötilalla saadaan myös vaikutettua lämpökertoimeen. Nesteen ollessa lämpöisempää kasvattaa se myös lämpöpumpun lämpökerrointa.

5 E-luku ja lämmin käyttövesi

5.1 Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve

E-lukua laskettaessa lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 ja D5 mukaisesti. Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve lasketaan kaavalla 1.

$$Q_{\text{lämmitys, lkv}} = \frac{Q_{\text{lkv, netto}}}{\eta_{\text{lkv, siirto}}} + Q_{\text{lkv, varastointi}} + Q_{\text{lkv, kierto}} \quad (1)$$

$Q_{\text{lämmitys, lkv}}$ on lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh/a

$Q_{\text{lkv, netto}}$ on lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh/a

$\eta_{\text{lkv, siirto}}$ on lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde

$Q_{\text{lkv, varastointi}}$ on lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviö, kWh/a

$Q_{\text{lkv, kierto}}$ on lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviö, kWh/a

Nettotarve

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve saadaan D3 taulukon 5 mukaisesti, joka asuinkerrostalolle on 35 kWh/m²/a ja sitä vastaava ominaiskulutus 600 l(m²/a). Nettotarpeesta vähennetään jäteveden lämmöntalteenotolla talteen otettu energia joka käytetään hyväksi lämpimän vedenlämmityksessä.

Siirron hyötysuhde

Lämpimän veden siirron hyötysuhde käsittää jakojohdon häviöt, siirron hyötysuhde saadaan D5 taulukosta 6.3 joka on kiertojohtoiselle asuinkerrostalolle 0,97.

Varastoinnin häviöt

Varastoinnin vuotuiset häviöt tulee D5 taulukon 6.3 b mukaisesti, jos ei ole tarkempaa tietoa varaajan häviöistä.

Kiertojohtoon lämpöhäviö

Kiertojohtoon lämpöhäviö lasketaan kaavalla 2.

$$Q_{lkv,kierto} = (\phi_{lkv,kiertohäviö,omin} L_{lkv} + \phi_{lkv,lämmitys,omin} \eta_{lämmityslaitte}) \frac{t_{lkv,pumppu} 365}{1000} \quad (2)$$

$Q_{lkv,kierto}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviö, kWh/a
$\phi_{lkv,kiertohäviö,omin}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho, kWh/a
L_{lkv}	on lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus, m
$\phi_{lkv,lämmitys,omin}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho, W/m
$\eta_{lämmityslaitte}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden lukumäärä, kpl
$t_{lkv,pumppu}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika, h/vrk.

Kiertojohdon lämpöhäviön ominaistehon laskentaan voidaan käyttää D5:n taulukon 6.4 arvoja, jos tarkempaa laskentaa ei suoriteta. Jos kiertojohdon pituudesta ei ole tietoa voidaan käyttää D5 taulukon 6.5 arvoja. [13, s.43].

Pumpun sähkönkulutus

Kiertovesipumpun sähkönkulutus lasketaan kaavalla 3.

$$W_{lkv,pumppu} = P_{lkv,pumppu} t_{lkv,pumppu} \frac{365}{1000} \quad (3)$$

$W_{lkv,pumppu}$	on lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergian kulutus, kWh/a
$P_{lkv,pumppu}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun sähkömoottorin ottoteho, W
$t_{lkv,pumppu}$	on lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika, h/vrk.

Käyttöaikana tulee käyttää arvoa 24 h/vrk. Jos pumpun sähkömoottorin ottotehoa ei tunneta tarkasti, voidaan arvona käyttää 200 W/l/s, jolla kerrotaan mitoitettu virtaama.

Lämpökuormat

Kierrosta ja varastoinnista aiheutuvista häviöistä tulee 50 % lämpökuormaksi, tämä osuus vähennetään tilojen lämmitysenergian nettotarpeesta.

Lämpöpumpun sähköenergian kulutus

D5 kohta 6.6 määrittää lämpöpumpun sähköenergian kulutuksen laskennan. D5 laskennan oletuksena on se, että lämpöpumput tuottaisivat tilojen lämmityksen vaatimaa lämmitysenergiaa sekä lämmintä käyttövettä vuorottain. Jos kyseinen oletamus ei pidä paikkaansa, tulee laskenta suorittaa muilla tarkemmilla menetelmillä. Työni tapauksessa lämpöpumppu tuottaa lämmitysenergiaa ainoastaan lämpimään käyttöveteen ja lähtökohtaisesti lämpöpumpulla tuotetaan kaikki lämmin käyttövesi. Näillä oletamuksilla lämpöpumpun sähköenergian kulutus lasketaan jakamalla kohdassa 5.1 kaavalla 1 laskettu lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve lämpöpumpun SPF-luvulla.

Aurinkokeräimillä tuotettu osuus

Aurinkokeräimillä tuotettu lämpimän käyttöveden osuuden laskenta voidaan tehdä D5 kohdan 6.5 mukaisesti, vaihtoehtoisesti voidaan käyttää Aurinko-opas 2012:n mukaista tarkempaa laskentamenetelmää. Laskennassa voidaan käyttää myös muuta laskentamenetelmää, laskentamenetelmän tulee olla luotettava ja D3 mukaiset laskentasäännöt tulee toteuttaa.

Käytettäessä D5 kohdan 6.5 mukaista laskentaa ei käyttöveden lämmitykseen käytettävä aurinkoenergialla tuotettu osuus saa olla yli 40 %. Käytettäessä aurinko-opaan tai muun luotettavan laskentaohjelman laskentaa voi aurinkoenergialla tuotettu osuus olla enemmän. Aurinkokeräimillä tuotettu osuus vähennetään kaavalla 1 lasketusta lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta.

Aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergian kulutus

Aurinkokeräinjärjestelmään tulevien pumppujen sähköenergian kulutus tulee myös huomioida laskettaessa kokonaisenergian kulutusta. Pumpun tai pumppujen sähköenergian kulutus lasketaan kaavasta 4.

$$W_{aurinko.pumput} = \sum (P_{pumppu,i} t_{pumppu,i}) / 1000 \quad (4)$$

$W_{aurinko.pumput}$ on aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergiankulutus, kWh/a

$P_{pumppu,i}$ on yksittäisen pumpun i teho, W

$t_{pumppu,i}$ on pumpun i käyttöaika, h.

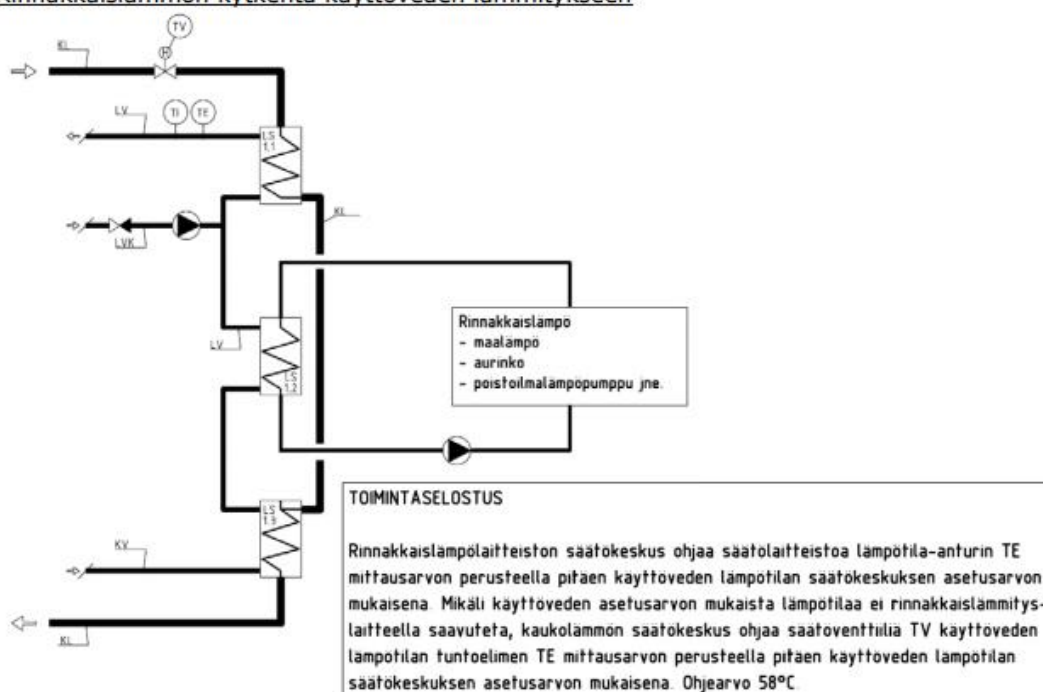
6 Vaihtoehtoisia kytkentätapoja

Aurinkolämpöjärjestelmät tarvitsevat aina rinnalleen päälämmönlähteen. Kaukolämpö-laitteistoon liittyminen ei ole itsestään selvyyttä ja kytkentävaihtoehdot tulee aina käydä paikallisen lämmönmyyjän kanssa läpi. Kysyin sähköpostilla seitsemältä eri lämmönmyyjältä kantoja kytkentävaihtoehtoihin.

6.1 K1/2013 kytkentä rinnakkaislämmölle

Rakennusten kaukolämmitys määräykset ja ohjeet julkaisu K1/2013 esittää rinnakkaislämmön kytkennälle käyttöveden kuvan 22 mukaista kytkentää.

Rinnakkaislämmön kytkentä käyttöveden lämmitykseen



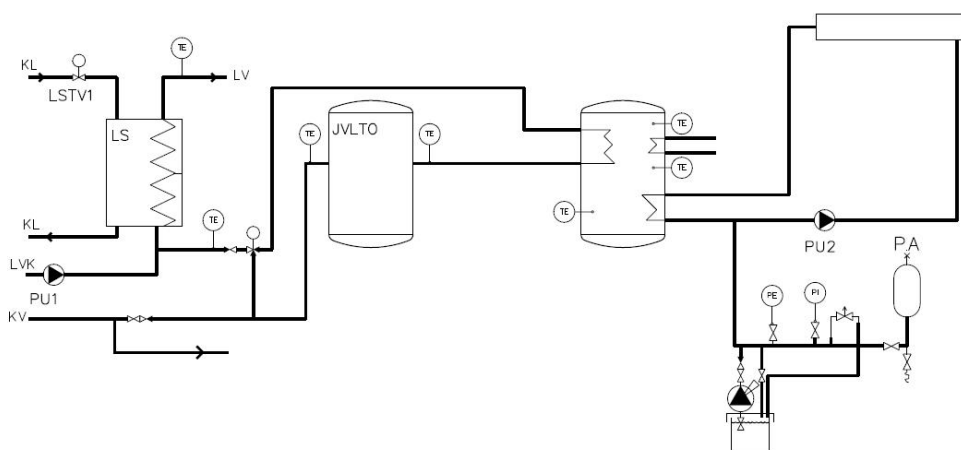
Kuva 22. Rinnakkaislämmön kytkentä. [14].

Kuvan 22 mukainen kytkentä huonontaa jäteveden lämmöntalteenotosta hyödyksi saatavaa lämpöenergiaa. Kaukolämmön paluuvien lämpötila saa olla maksimissaan 20-asteista, kuvassa 22 esitetty LS1.3-siirrin nostaa LS1.2-siirtimelle tulevan kylmän veden noin 43...34 asteeseen riippuen muun muassa siirtimen mitoituksista, kaukolämpöveden lämpötilasta ja käyttöveden virtaamasta. Kiinteistöstä tuleva jäteveden lämpötila vaihtelee noin 16...35 asteen välillä. Tämän johdosta talviaikaan, kun aurinkoa ei ole

saatavilla, ei kyseisellä kytkennällä saada jäteveden lämmöntalteenotosta hyödyksi saatavaa lämpöenergiaa ollenkaan.

6.2 Lämmöntalteenoton ja aurinkolämmön sarjaankytkentä

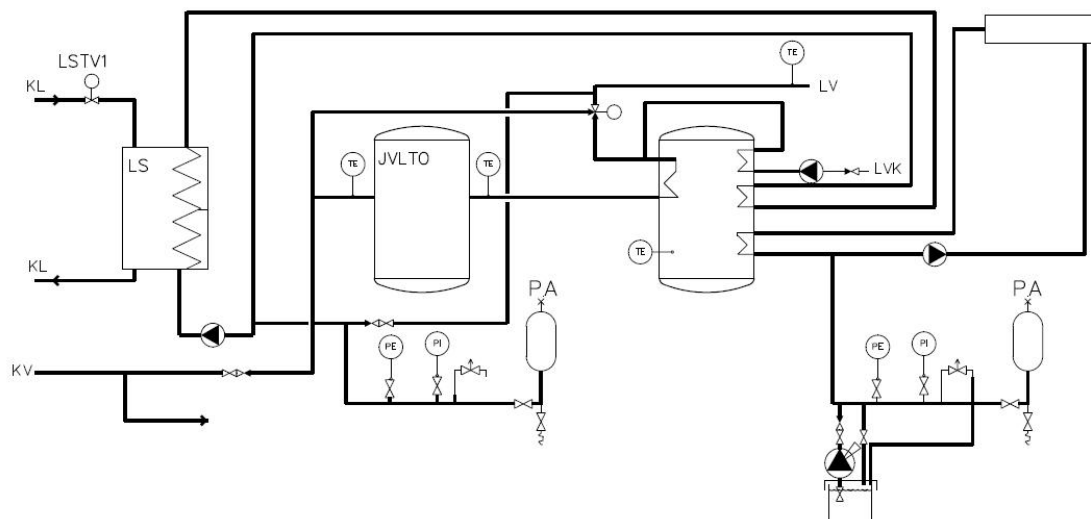
Kuvan 23 suorassa kytkennässä jäteveden lämmöntalteenotolla esilämmitetään kiinteistöön tuleva kylmävesi ennen käyttövesisiirintä. Ainoastaan yksi lämmönmyyjä ilmoitti tämän kytkennän olevan sallittu sen kaukolämpöverkostossa. Suoraan kytkentään saataisiin toimintavarmasti liitettyä aurinkolämpöjärjestelmä. Suorassa kytkennässä, johon on liitetty aurinkolämpö, esilämmitetty vesi menee jäteveden lämmöntalteenotosta varaajaan. Varaajassa esilämmitetty vesi tulistetaan kesäaikana aurinkolämmöllä minkä jälkeen se menee käyttövesisiirtimen. Käyttövesikierukan tulee sijaita varaajan yläosassa. Kytkenä on toimivuuden ja veden turvallisuuden sekä terveyden kannalta hyvä.



Kuva 23. Suora kytkentä ja aurinkolämpö.

6.3 Lämmöntalteenoton ja aurinkolämmön epäsuora sarjakytkentä

Toinen toimintavarma kytkentävaihtoehto on esilämmittää kylmävesi jäteveden lämmöntalteenotossa, jonka jälkeen vesi menee varaajaan, tulistus varaajassa tehdään kesäaikaan, kun aurinkolämpöä on saatavilla aurinkolämmöllä. Kytkenä on esitetty kuvassa 24. Tässä vaihtoehdossa varaajassa on kierukka, joka on liitetty kaukolämpöön, jonka avulla varmistetaan veden tulistus tarvittaessa sekä talviaikana.

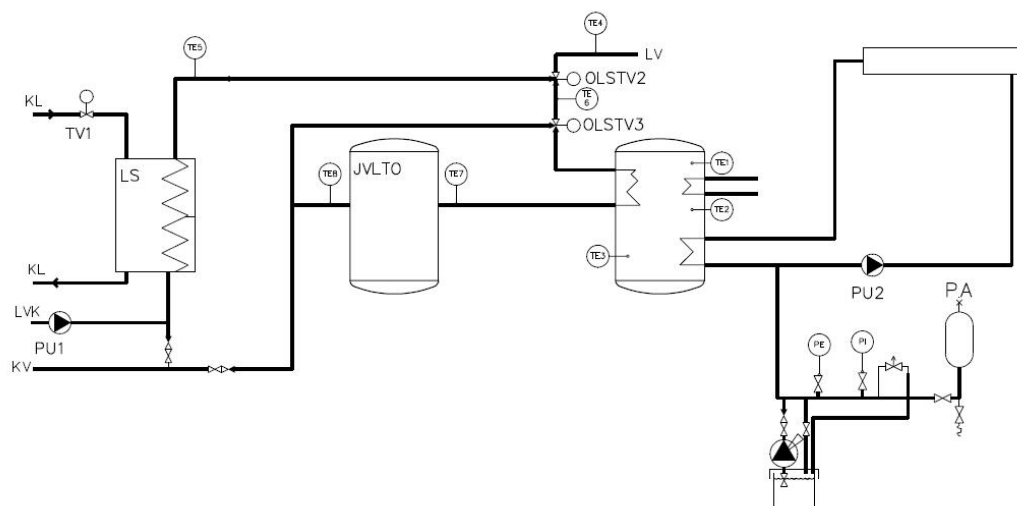


Kuva 24. Epäsuora sarjakytkenä.

Kuvien 23 ja 24 vaihtoehdoissa kytkentä huonontaa kaukolämpöveden jäähtymää eikä tämän johdosta ole pääsääntöisesti hyväksyttävä kytkentä kaukolämpölaitteistoon.

6.4 Aurinkolämmön ja lämmöntalteenoton rinnankytkentä

Lämmönmyyjillä on esittää niukasti omia kytkentävaihtoehtoja rinnakkaislämmön liittämiseen kaukolämpölaitteistoon. Jäteveden ja aurinkokeräimien hybridiratkaisun liittämiseksi ei lämmönmyyjillä ollut valmista kytkentävaihtoehtoa. Lämmönmyyjien kommenttien perusteella rinnankytkentä olisi hyväksyttävissä. Rinnankytkennän kytkentäkaavio aurinkolämpöjärjestelmän ja jäteveden lämmöntalteenoton osalta esitetty kuvassa 25. Kyseinen kytkentä ei vaikuta kaukolämpöveden jäähtymään ja tämän johdosta on hyväksyttävä kytkentä kaukolämpölaitteistoon.



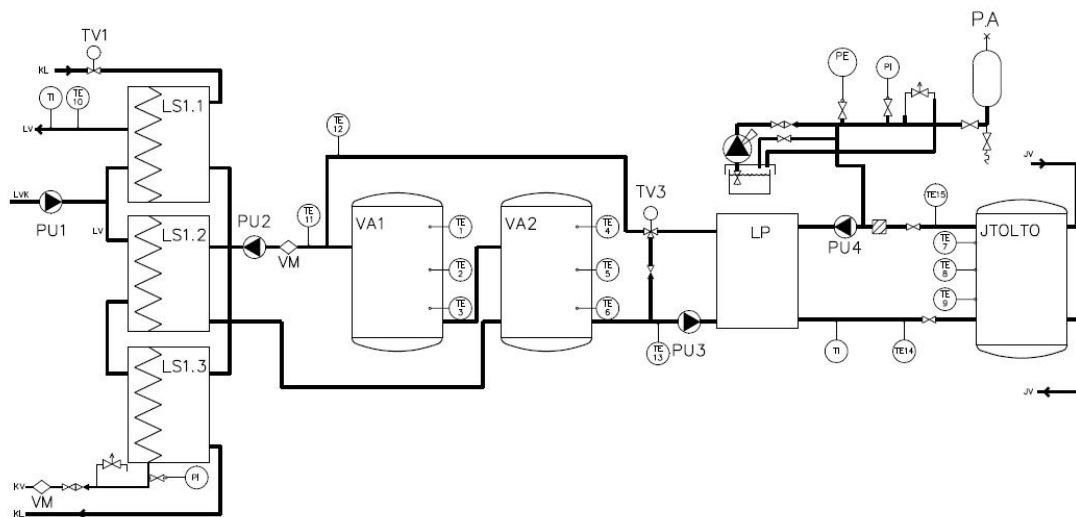
Kuva 25. Rinnankytkentä aurinkolämpö ja jäteveden talteenotto

Kylmä käyttövesi esilämmitetään jäteveden lämmöntalteenotossa noin 25-asteiseksi, käyttövesi priimataan aurinkolämmöllä, jos aurinkoenergiaa on saatavilla. Vaihtoehtoisesti priimaus tapahtuu kaukolämmöllä sekoitettaessa kaukolämpösiirtimeltä tulevaa kuumempaa vettä varaajalta tulevaan veteen. Varaaja on varustettu sähkövastuksella jota voidaan käyttää tarvittaessa varaajassa olevan veden lämmittämiseen. Varaajan jälkeen on vielä sekoitus kylmään veteen, jolla varmistetaan, että lähtevän veden lämpötila ei mene liian kuumana verkostoon.

6.5 Lämmöntalteenoton ja lämpöpumpun rinnankytkentä

Lämpöpumppu yhdistettynä jäteveden lämmöntalteenottoon muuttaa kytkentää. Lämpöpumppukytkennässä ei kylmää käyttövettä esilämmitetä talteenottosäiliössä lainkaan. Kyseisessä kytkennässä jäteveden lämmöntalteenoton vaippanestettä pyöritetään lämpöpumpun keruunesteen puolella. Vaippanesteestä kerätään jätevedestä siihen siirtynyt lämpöenergia lämpöpumpulla käyttöveteen. Tämä kytkentä mahdollistaa lämpöpumpun hyödyntämisen ilman energiakaivon poraamista ja auttaa kyseisen yhdistelmän tuotteistamista koska ei olla sidoksissa energiakaivoon. Lämpöpumppukytkennässä jäteveden lämmöntalteenoton väliaineen lämpötila tulee olemaan alhainen, noin 1–5 astetta, jonka johdosta sitä ei voida kyseisessä kytkennässä käyttää lämpimän käyttöveden esilämmitämiseen. Väliaineena lämpöpumppukytkennässä lämmöntalteenotto säiliössä käytetään vesi/etanoliseosta, etanolia 30 % ja vettä 70 %.

K1 mukainen rinnakkaislämmön kytkentä soveltuu lämpöpumppukytkentään, kyseistä kytkentää käyttämällä toimii kaukolämpö myös varajärjestelmänä vikatilanteissa. Kuvassa 26 esitetty K1 rinnakkaislämmön kytkentä liitettynä jäteveden lämmöntalteenottoon ja lämpöpumppuun.



Kuva 26. Rinnakkaislämmön kytkentä

Kytkenässä varaajat on kytketty sarjaan, jolloin lataustilanteessa saadaan mahdollistettua lämpöpumpulle palaavalle vedelle mahdollisimman optimaalinen lämpötila.

Lämpöpumppu kerää tarvittavan energian jäteveden lämmöntalteenoton vaippanesteestä johon se on siirtynyt johtumalla kiinteistössä käytetystä jätevedestä. Lämpöpumppu siirtää kerätyn energian varaajiin. Järjestelmää ajetaan kolmen eri tilanteen mukaisesti, pienen kulutuksen tilanne, ison kulutuksen tilanne ja varaajien lataus.

Varaajat on asennettu sarjaan, jolloin saadaan lämpöpumpulle palaavan nesteen lämpötila pidettyä mahdollisimman optimaalisena. Sarjaan asennuksella saadaan myös lämpötilakerrostuminen mahdollisimman optimaaliseksi. Lämpöpumpun keruupiiriä säädetään energian tarpeen ja vaippanesteen lämpötilan mukaan. Vaippanesteen laskeessa liian alhaiseksi ohjataan keruupiirin pumppu ja kompressorin pois päältä.

Varaajien latausvaiheessa kuvan 26 PU2 (pumppu 2) on pois päältä, PU3 (pumppu 3) ja PU4 (pumppu4) sekä lämpöpumppu on päällä. Vettä kierrätetään varaajien lävitse

lämpöpumpulle, kiertoa jatketaan kunnes varaajissa saavutetaan haluttu veden lämpötilan asetusarvo.

Pienen kulutuksen tilanteeseen siirrytään latausvaiheen jälkeen. Tässä tilanteessa PU2 on päällä ja PU3, PU4 sekä lämpöpumppu on pois päältä. Veden kierto on tässä tilanteessa päinvastainen kuin latausvaiheessa. Pumpun avulla kierrätetään vettä lämmönsiirtimelle, josta vesi menee takaisin varaajiin ja pumpulle. Tämä vaihe on päällä niin kauan, kun varaajissa olevan veden lämpötila laskee alle halutun veden lämpötilan asetusarvon.

Ison kulutuksen tilanteeseen siirrytään pienen kulutuksen tilanteen päättyessä. Ison kulutuksen tilanteessa on kaikki pumput ja lämpöpumppu päällä. Osa lämmönsiirtimelle menevästä vedestä tulee suoraan lämpöpumpulta ja osa tulee varaajista. Tehoa pystytään säätämään muuttamalla pumppujen pyörimisnopeutta taajuusmuuttajilla. Ison kulutuksen vaihe päättyy, kun siirtimelle menevän veden lämpötila ei saavuta haluttua lämpötilaa. Tämän vaiheen jälkeen siirrytään taas latausvaiheeseen.

7 Mitoitukset ja laskenta

7.1 Kohdetiedot

Laskennan kohteena käytetään Espooseen valmistuvaa 59 asunnon asuinkerrostaloa. Kohteen energialuokka on C ja laskettu E-luku $122 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$, rakennuksen lämmitetty nettoala on 3501 m^2 . Kohteessa on keskitetty ilmanvaihto, lämmitysjärjestelmä vesikiertoinen patterilämmitys, joka lämmitetään kaukolämmöllä. Lämpimässä käyttövedessä on kiertojohto, märkätiloissa vesikiertoinen mukavuuslattialämmitys. Kohteen alkuperäinen lämpimän käyttöveden ostoenergian kulutus kaukolämmön osalta on $141\,144 \text{ kWh/vuosi}$ energiatodistuksen mukaisesti. Kiertopumpun sähköteho on 150 W ja sähköenergian laskennallinen kulutus pumpulla on 1314 kWh/vuosi . Lämpimän käyttöveden ostoenergian kulutus kaukolämmön osalta mitattujen kulutuslukemien mukaan on noin $118\,287 \text{ kWh/vuosi}$.

7.2 Jäteveden lämmöntalteenotto

7.2.1 Tehon mitoitus jäteveden lämmöntalteenotto aurinkolämpökytkentä

Valmistajan sivuilta löytyy Ecowec-/hybridivaihtimen tehon määrittämiseen diagrammit. Valmistajan ohjeiden mukaan teho määritetään diagrammeista C1-arvon ja C2-arvon avulla.

C1 arvon määrittämiseen pitää ratkaista diagrammin ΔT -arvo, joka saadaan kaavasta 5.

$$\Delta T = JVT - KVT \quad (5)$$

ΔT on jäteveden lämpötilan ja kylmän veden lämpötilan erotus, °C

JVT on jäteveden lämpötila, °C

KVT on kylmän veden lämpötila, °C

[8].

C2-arvon määrittämiseen tarvitaan Q_{jv} -arvoa ja Q_{kv} -arvoa, kyseiset arvot määritetään alla olevien kaavojen 6 ja 7 avulla.

$$Q_{jv} = \left(\frac{a * b * c}{d} \right) / 3600 \quad (6)$$

Q_{jv} on jäteveden virtaama l/s

a on asuntojen lukumäärä

b on keskimääräinen asumistiheys/asunto (b=1,8)

c on keskimääräinen vedenkulutus henkilöä kohden vuorokaudessa (c=155 l/vrk.)

d on tuntia vuorokaudessa jolloin on veden kulutusta (d=18 h)

[8].

$$Q_{kv} = Q_{jv} * 0,4 \quad (7)$$

Q_{kv} on lämpimän käyttöveden virtaama, l/s

[8].

Valmistajan ohjeita noudattamalla Q_{jv} -arvoksi saadaan 0,25 l/s ja Q_{kv} -arvoksi 0,1 l/s. Valmistajan ohjeiden mukaista tehon määrittystä voidaan käyttää, jos kohteen vedenkulutuslukemat eivät ole selvillä.

Referenssikohteen vedenkulutuslukemat ovat tiedossa, joten käytetään niitä mitoituksen pohjana. Valmistajan mukaan öisin on kuuden tunnin hiljainen hetki, jolloin kulutusta on hyvin vähän. Tämän takia käytetään 18 tuntia 24 tunnin sijasta. Vuorokauden (18 h) keskimääräinen lämpimän veden kulutus todellisen kulutuksen lukemilla on noin 4900, litraa joka tekee 0,076 l/s.

Kylmän veden mitattu kulutus vuorokaudessa koko yhtiön osalta on noin 8700 litraa ja henkilöä kohden noin 82 litraa. Lämpimän veden mitattu kulutus vuorokaudessa on 46 litraa, yhteensä nämä tekevät 128 litraa. Määritetään näiden avulla Q_{jv} -arvo edellä mainitun mukaisesti, joka on 0,21 l/s.

Rinnankytkennässä kaikkea lämpimän veden virtaamaa ei saada vietyä jäteveden lämmöntalteenoton läpi. Tammikuussa, helmikuussa, lokakuussa, marraskuussa ja joulukuussa ei aurinkolämpöä pystytä pääsääntöisesti hyödyntämään tai tuotto on hyvin vähäistä. Kyseisinä ajankohtina vettä ei saada lämmitettyä aurinkolämmöllä juuri ollenkaan, tällöin vesi priimataan kaukolämmöllä 58-asteiseksi sekoitusventtiilissä. Jäteveden lämmöntalteenotolta tuleva vesi on keskimääräisesti 25-asteista. Tähän sekoitetaan riittävän kuumaa kaukolämpövettä, jotta lämpimän veden lämpötila saadaan nostettua 58 asteeseen. Oletetaan siirtimeltä 3-tieventtiilille tulevan veden lämpötilaksi 80 astetta ja määritetään sekoitus-suhde erilämpöisille vesille kaavalla 8.

$$\text{Sekoitus-suhde } (1 - X)t_1 + t_2 * X = t_3 \quad (8)$$

X on sekoitus-suhde

t_1 on siirtimeltä tulevan veden lämpötila, °C

t_2 on jäteveden lämmöntalteenotolta tulevan veden lämpötila, °C

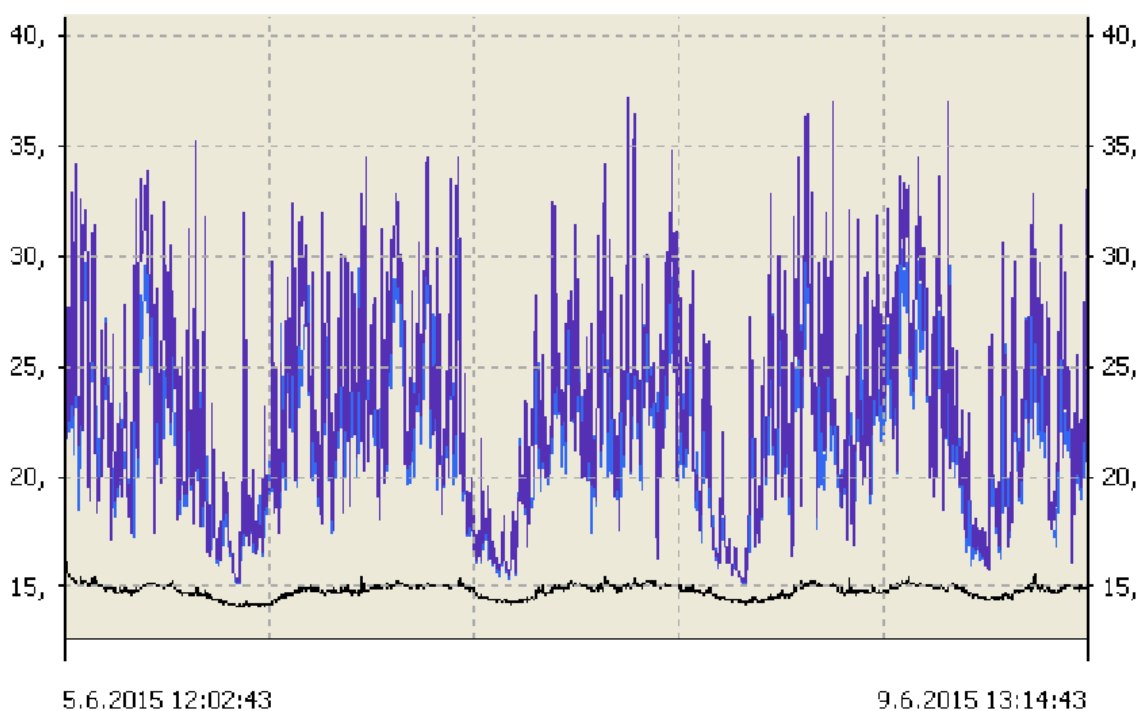
t_3 on sekoituksen jälkeinen lämpimän veden lämpötila, °C

Sekoitus-suhteeksi saadaan 40 %, 80-asteiseen lämpimään veteen sekoitetaan 40 % 25-asteista vettä. Määritetään näiden kuukausien osalta jäteveden lämmöntalteenoton läpi menevä lämpimän veden virtaama 40 %:n mukaan. JR-laskentaohjelmalla määritettynä, maaliskuun ja syyskuun välisenä aikana tuoton ja tarpeen suhteen keskiarvo on noin 53 % tarvittavasta lämpimästä käyttövedestä jäteveden lämmöntalteenoton läpi. Näillä tiedoilla saadaan määritettyä jäteveden lämmöntalteenoton läpi menevä koko vuoden veden määrä joka on noin 836 m^3 . Jos kaikki vedet saataisiin vietyä jäteveden talteenoton läpi olisi virtaama 1773 m^3 . Näiden vesimäärien suhde on 47 %, tämän avulla saadaan määritettyä virtaama, joka on Q_{kv} -arvo.

0,076 l/s:n virtaamasta 47 % on 0,036 l/s, käytetään tätä virtaamaa diagrammin Q_{kv} -virtaamana.

Lukema 1773 m^3 saadaan kertomalla 0,076 l/s vuoden tunneilla, jolloin kulutusta on (18 h/vrk.). Lukema 836 m^3 saadaan kertomalla tammikuun, helmikuun, lokakuun, marraskuun sekä joulukuun tunnit 40 %:n osuudella kokonaiskulutuksesta. Tähän lukemaan lisätään loppujen vuoden kuukausien tuntien kulutus 53 %:n mukaisella kulutuksella.

Kuvassa 27 on esitetty eräästä asuinkerrostalo kohteesta mitattuja jäteveden lämpötiloja. Kiinteistöstä tulevan jäteveden lämpötila vaihtelee 16...35 asteen välillä. Tummansinisellä kuvassa esitetään jäteveden lämpötila, vaaleansinisellä putken pintalämpötila ja mustalla ympäröivän ilman lämpötila. Kuvan oikealla ja vasemmalla pystyakselilla on esitetty lämpötilat.



Kuva 27. Jäteveden lämpötiloja.

Kuvan 27 mukaan lämpötilat nousevat maksimissaan yli 35 asteeseen ja alimmillaan lämpötilat ovat noin 15 astetta, keskiarvona voidaan pitää noin 25 astetta. Rakennukseen tulevan kylmän veden arvona käytetään viittä astetta.

Diagrammin ΔT on jäteveden lämpötila vähennettynä kiinteistöön tulevan kylmän veden lämpötilalla.

Edellä lasketuilla Q_{jv} -arvolla ja Q_{kv} -arvolla ($Q_{jv}=0,21$ l/s, $Q_{kv}=0,036$ l/s), siirtimeen tulevan jäteveden lämpötilalla $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ sekä rakennukseen tulevan kylmän veden arvolla $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ saadaan diagrammeista (kuva 28 ja kuva 29) määritettyä vaihtimen teho kaavasta 9.

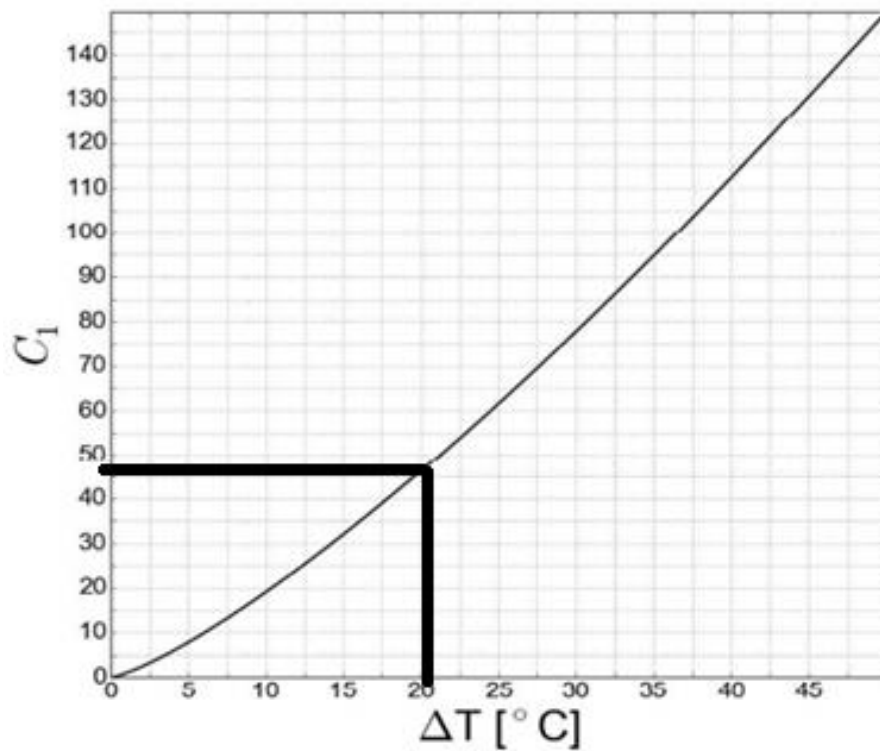
$$\phi = C_1 \times C_2 \text{ [kW]} \quad (9)$$

ϕ on jätevesisiirtimen teho, kW

C_1 on valmistajan mitoitusdiagrammista saatava arvo

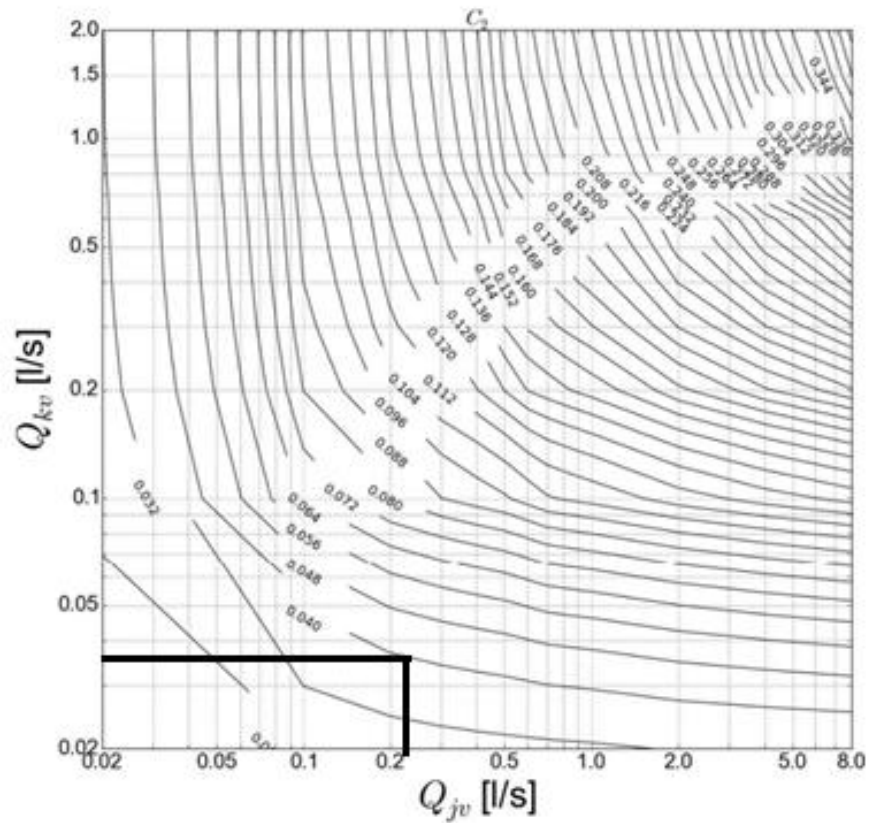
C_2 on valmistajan mitoitusdiagrammista saatava arvo

[10].



Kuva 28. Jätevesisiirtimen tehon määrittämisessä tarvittava kerroin C_1 [10].

Diagrammista määritettynä edellä olevilla arvoilla saadaan C_1 -arvoksi 45. Kuvan 29 diagrammista määritetään Q_{jv} ja Q_{kv} -arvojen suorien leikkauspisteen avulla C_2 -arvo, joka on 0,04.



Kuva 29. Jätevesisiirtimen tehon määrittämisessä tarvittava kerroin C_2 [10].

Lämmönvaihtimen teho saadaan kaavalla $\phi = C_1 \cdot C_2 = 45 \times 0,04 = 1,8 \text{ kW}$, hyötysuhde jätevedestä noin 10 %.

Rinnankytkentä huonontaa merkittävästi jäteveden lämmöntalteenotosta saatavaa tehoa ja hyötysuhdetta. Vertailtaessa tilannetta, jossa kaikki kiinteistön lämmin vesi voitaisiin ajaa ecowec-siirtimen läpi, saataisiin tehoksi noin 3,3 kW. Hyötysuhde jätevedestä noin 19 %. Hyötysuhde jätevedestä määritetään jakamalla saatu teho potentiaalisella maksimiteholla kaavan 10 mukaisesti.

$$\eta_{jv} = \frac{\phi}{\phi_{pot}} \quad (10)$$

ϕ on saatu teho, kW
 η_{jv} on hyötysuhde jätevedestä

Potentiaallinen maksimiteho lasketaan kaavalla

$$\phi_{pot} = m * C_p * \Delta T_{max} \quad (11)$$

ϕ_{pot} on potentiaallinen maksimi teho, kW
 m on jäteveden massavirta, kg/s
 C_p on veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg °C
 ΔT_{max} on jäteveden ja kylmän veden lämpötilaero, °C
 [10].

7.2.2 Tehon mitoitus jäteveden lämmöntalteenotto lämpöpumppukytkentä

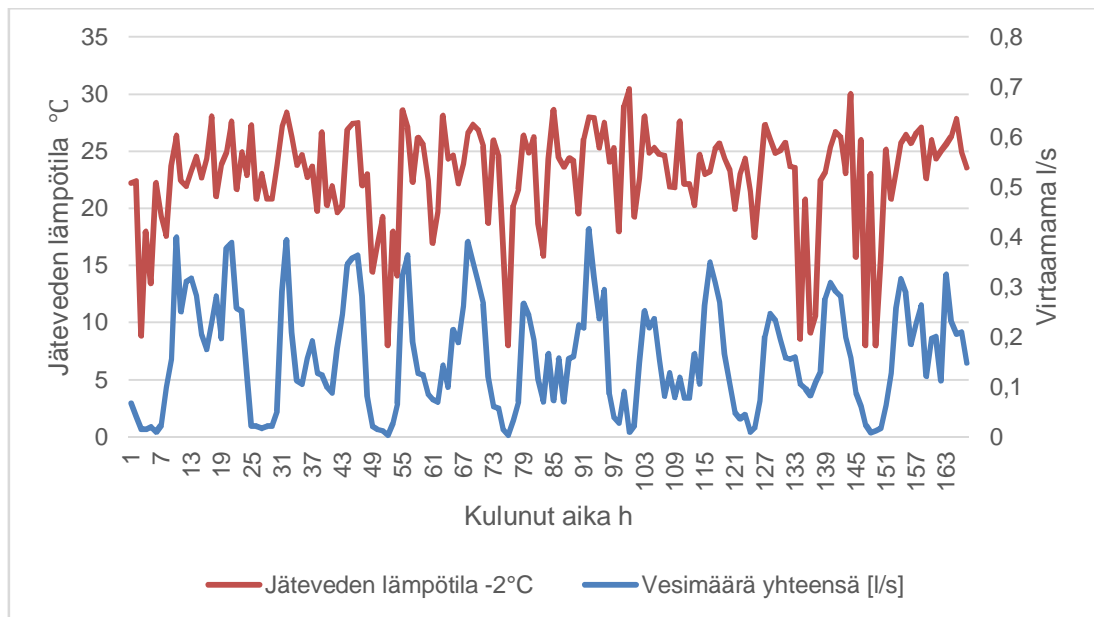
Lämpöpumppukytkennän mitoituksessa käytetään jäteveden lämpötilan määrittämiseen laskennallisia perusteita jotta saadaan tarkemmin määritettyä eri kulutustilanteiden mukaan saatava teho jäteveden lämmöntalteenotosta. Jäteveden lämmöntalteenotosta saatavaan tehoon vaikuttaa sen läpi menevä virtaama ja jäteveden lämpötila. Jäteveden lämpötila voidaan määrittää virtaamien perusteella kaavalla 12.

$$T = \frac{(m1*t1+m2*t2)}{(m1+m2)} \quad (12)$$

T on jäteveden lämpötila, °C
 $t1$ on lämpimän veden lämpötila (55°C)
 $t2$ on kylmän veden lämpötila (10°C)
 $m1$ on lämpimän veden massavirta, kg/s
 $m2$ on kylmän veden massavirta, kg/s

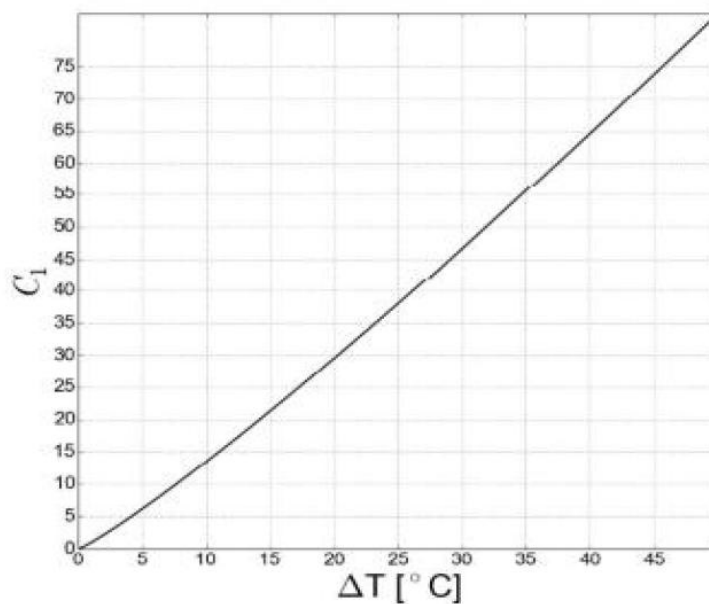
Kaava (12) ei ota huomioon esimerkiksi astianpesukoneissa ja pesukoneissa lämmitettyä vettä, joten aivan tarkkaa jäteveden lämpötilaa kaavalla ei saa määritettyä. Viemäri- rissä tulee myös lämpöhäviöitä, vakiolämpöhäviöiksi oletettiin verkoston osalta 2 °C. Oletuksena on myös, että kaikki käytetty vesi palautuu viemäriin.

Lämpimän ja kylmän veden virtaamien ja kaavan 12 perusteella saadaan tehtyä kuvaaja koko virtaamasta ja jäteveden lämpötilasta, mikä on esitetty kuvassa 30.



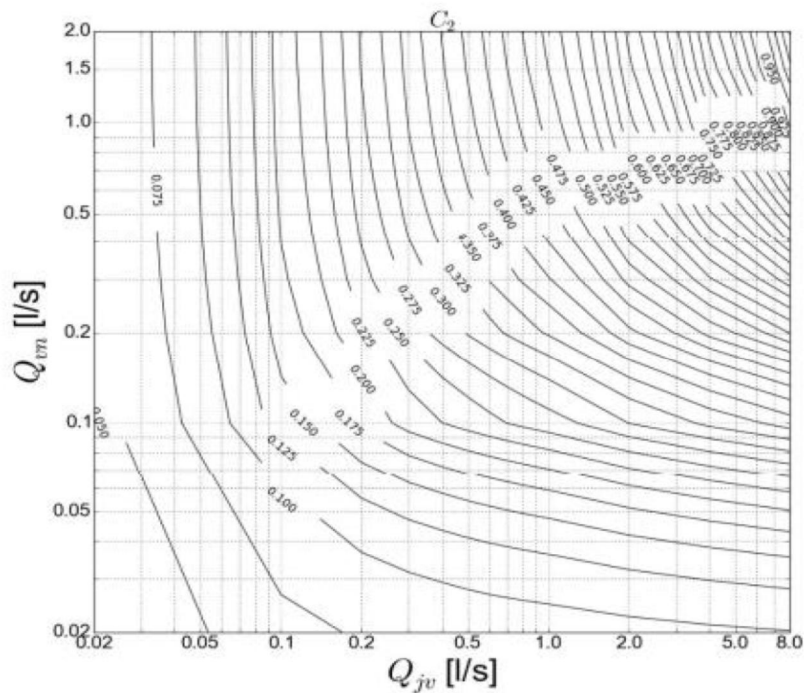
Kuva 30. Virtaama ja jäteveden lämpötila.

C1-arvo määritetään kuvasta 31. Tässä tapauksessa ΔT on jäteveden lämpötila vähennettynä keruuliuksen lämpötilalla. Keruuliuksen lämpötila pidetään vakiona 4 °C.



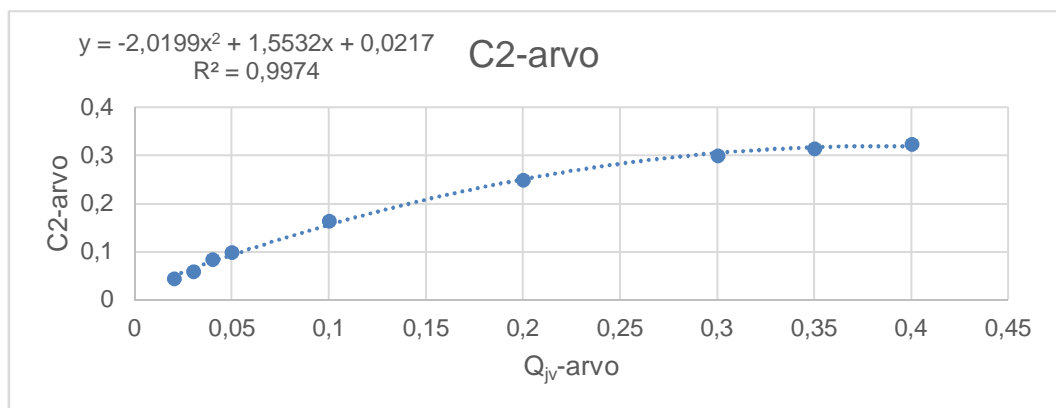
Kuva 31. Diagrammi C1 arvon määrittämiseen. [10].

C2-arvo määritetään kuvasta 32, keruuliuoksen virtaama pidetään vakiona 0,4 l/s.

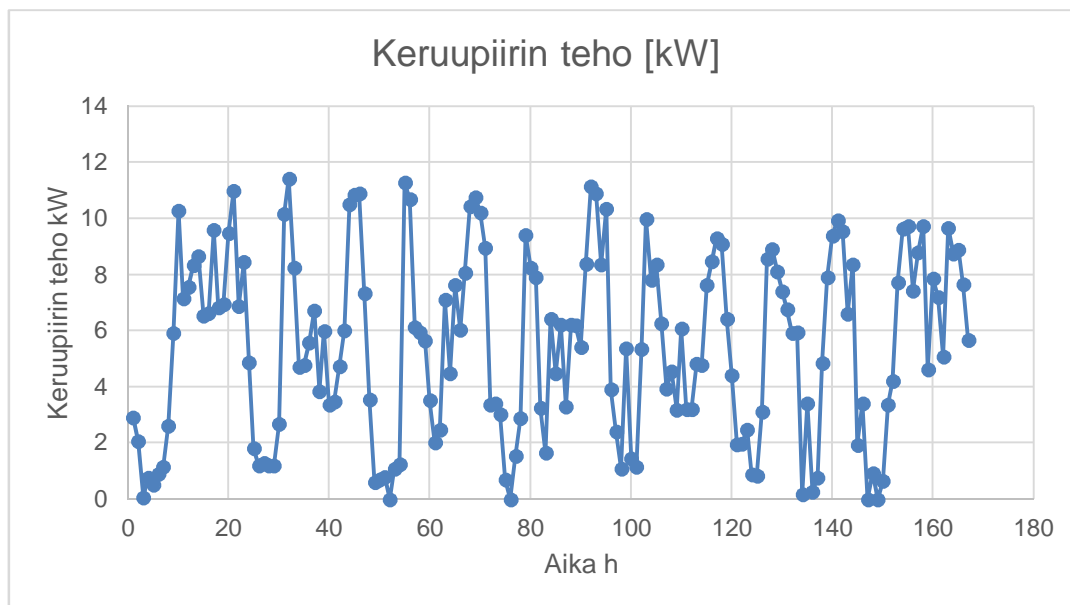


Kuva 32. Diagrammi C2-arvon määrittämiseen. [10].

C1-arvo lasketaan kaavalla $C1 = (1,62 \cdot \Delta T) - 2$. Pitämällä keruuliuoksen virtaama vakiona 0,4 l/s, saadaan C2-arvolle tehtyä sovite, joka on esitetty kuvassa 33. Näiden tietojen perusteella saadaan laskettua jäteveden lämmöntalteenotolle tehokuvaaja joka on esitetty kuvassa 34.



Kuva 33. C2-arvon sovite.



Kuva 34. Lämmöntalteenoton tehokuvaaja.

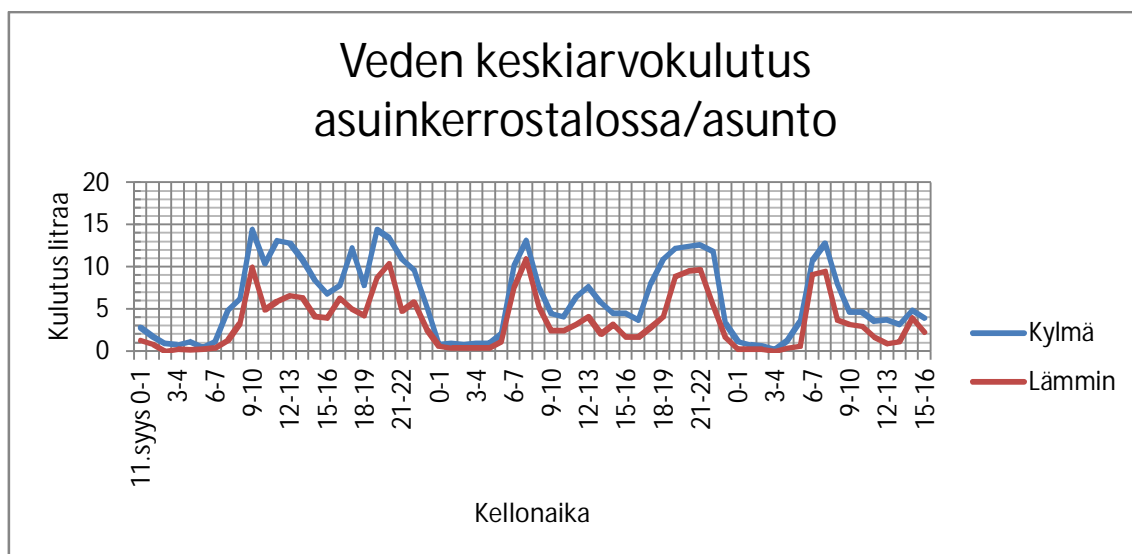
Tehokuvaajasta nähdään tehon vaihtelut vedenkulutuksen mukaisesti. Keskimääräinen teho jätevedestä on noin 5,5 kW. Hyötysuhteeksi jätevedestä saadaan 30 %. Hyötysuhde määritetään kaavalla 10.

7.3 Varaajan mitoitus

7.3.1 Varaajan koon mitoitus aurinkolämpö kytkentä

Varaajan tilavuuden määritän vastaavan kohteen tuntisen lämpimän veden kulutuksen avulla. Kuvassa 34 on esitetty tuntiset keskiarvo kulutukset asuinhuoneistoa kohden kylmän ja lämpimän veden osalta. Koko yhtiön osalta lämpimän veden kulutuksen vuorokaudessa kuluva määrä on noin 4900...5300 litraa. Kuvassa 35 on esitetty yhden sunnuntain, maanantain sekä osittain tiistain vedenkulutuksia.

Laskelmien lähtökohtana olen pitänyt asumistiheyttä 1,8 henkilöä/asunto, tuntuksista mitauksista saadaan yhden henkilön kuluttavan noin 46 litraa lämmintä vettä vuorokaudessa. Kulutushuippujen aikaan lämpimän veden tuntinen keskiarvokulutus on koko yhtiössä henkilöä kohden maksimissaan noin 6,1 litraa. Lämpimän veden keskiarvokulutus yöaikaan kello 24 ja aamukuuden välillä koko yhtiön osalta on noin 37 litraa tunnissa. Päivä aikaan kulutushuippujen ulkopuolella on tuntinen lämpimän veden kulutus koko yhtiön osalta noin 150...200 litraa tunnissa.



Kuva 35. Vedenkulutuksen tuntista profiilia.

Kuvassa 35 vasemmalta oikealle päin on ensimmäisenä sunnuntain kulutus, jonka jälkeen on maanantain ja tiistain tuntinen keskiarvokulutus asuntoa kohden. Kuvasta näkee selkeät kulutushuiput aamun ja illan osalta, aamulla kello kuusi ja kello yhdeksän välillä on lämpimän veden kulutus yhden asunnon osalta noin 25 litraa. Illan kulutushuippu osuu kello kahdeksan ja kymmenen väliin, yhden asunnon lämpimän veden kulutus on illan kulutushuipun osalta noin 28 litraa. Kohteessa on 59 asuntoa jolloin aamun kulutushuippu (klo 6–9) tekee yhteensä 1475 litraa lämmintä käyttövettä ja illan kulutushuippu (klo 20–22) 1652 litraa lämmintä käyttövettä. Jotta kesäaikaan saataisiin kulutushuiput katettua jäteveden lämmöntalteenotolla ja aurinkolämmöllä tulisi varaajan tilavuuden olla noin 3000 litraa. Illan kulutushuipun aikana ja sen jälkeen ei aurinkolämmöllä saada varattua varaajaan aamun kulutushuippua varten riittävästi lämmintä käyttövettä. Varaaja tulisi aurinkolämpökytkennässä mitoittaa siten, että lämmin vesi riittää illan ja aamun kulutushuippuihin ja se pitäisi saada ladattua päivän aikana.

7.3.2 Varaajan koon mitoitus lämpöpumppukytkentä

Lämpöpumppukytkennässä varaajien tilavuus tulisi olla 2000 litraa edellisen osion kulutuslukemien mukaisesti. 2000 litran varaajien lämpöenergian sisältö ladattuna on 123 kWh, kyseinen lämpömäärä riittää kattamaan kulutushuipputilanteen. Kulutushuippuihin tarvittava lämpöenergia saadaan ladattua varaajiin pienemmän kulutuksen aikana. Ku-

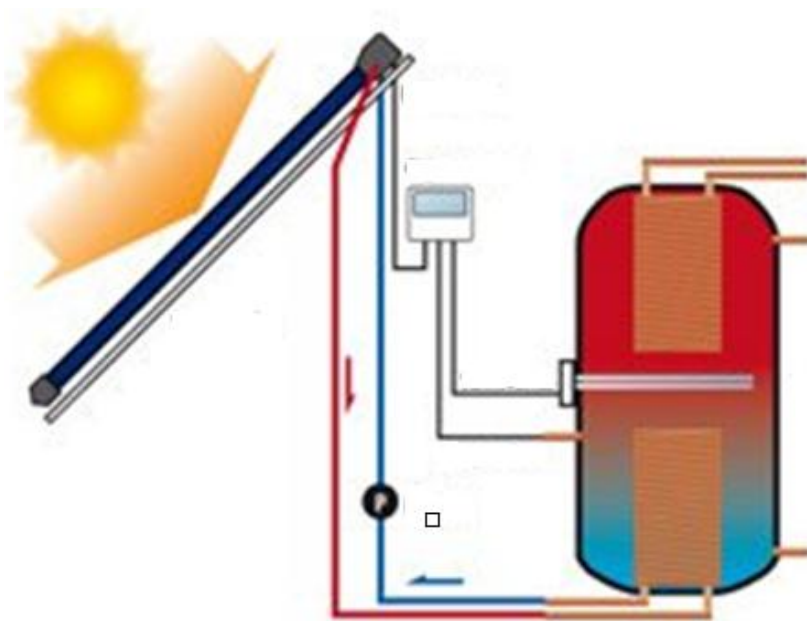
lutushuippujen ulkopuolella tarvittava lämmin käyttövesi saadaan tuotettua lämpöpumpulla sekä käyttämällä tarvittaessa varaajiin varastoitunutta lämpöenergiaa myös hyödyksi.

7.3.3 Varaajatyypin valinta aurinkolämpö

Varaajien malliin on muutama vaihtoehto. Yhdessä vaihtoehdossa varaajaan varataan suoraan lämmintä käyttövettä, joka on hyvä vaihtoehto asuinkerrostaloon, johtuen kulu- tushuippujen painottumisesta aamuun sekä iltaan. Toisessa vaihtoehdossa varaajaa käytetään energian varaamiseen ja käyttövesi lämmitetään käyttövesikierukassa joka sijaitsee varaajassa. Työssäni käytän varaajatyyppejä, jossa lämminkäyttövesi lämmitetään erillisellä kierukalla.

Varaajan ollessa malliltaan sellainen, että koko tilavuuteen varattaisiin lämmintä käyttö- vettä, olisi talviaikaan, kun aurinkoenergiaa ei ole saatavilla veden vaihtuvuus vähäistä, mikä johtaisi mahdollisesti veden laadun heikentymiseen. Tämän johdosta näen var- memmaksi käyttää käyttövesikierukalla varustettua varaajaa, jonka tilavuus on 3000 lit- raa. Kyseisellä vaihtoehdolla tulee myös kaksoisvaipparakenne käyttöveden ja aurinko- lämpönesteen välille.

Varaajaan tuleva lämmin käyttövesi esilämmitetään jäteveden lämmöntalteenotossa noin 25-asteiseksi. Esilämmityksen johdosta varaaja tulisi varustaa yhdellä käyttöve- sikierukalla, joka on sijoitettu varaajan yläosaan. Käyttämällä vain yhtä käyttövesikieruk- kaa varaajan yläosassa säilyy varaajan lämpötilakerrostuma hyvänä. Aurinkokierukka sijoitetaan varaajan alaosaan jossa veden lämpötila on kaikista alhaisin. Sijoittamalla aurinkokierukka alaosaan, jossa on viileintä vettä, saadaan varaaja lämpiämään koko tilavuudeltaan sekä järjestelmän hyötysuhde paranee. Akvatermiltä löytyy esimerkiksi AKVA 3000 EK-/energiavaraaja, joka soveltuu kyseiseen tarkoitukseen. Kuvassa 36 on esitetty esimerkkikuva varaajasta, jossa on aurinkokierukka alhaalla ja käyttövesikie- rukka ylhäällä.



Kuva 36. Varaaja aurinkolämpökierukalla ja yhdellä käyttövesikierukalla. [15.]

7.3.4 Varaajatyypin valinta lämpöpumppu

Varaajatyypin tulee olla niin sanottu puskurivaraaja, ladattaessa varaajia kierrätetään koko varaajan tilavuutta lämpöpumpun kautta. Varaajien yhteenlasketun tilavuuden tulee olla 2000 litraa. Nibe/Haatonla löytyy esimerkiksi HUKV 1000 litran puskurivaraaja, joita tarvitaan kaksi kappaletta. Varaajat kytketään sarjaan, jolloin saavutetaan haluttu varaajatilavuus, sarjaankytkentä on esitetty kuvassa 26 sivulla 27.

Varaajiin tulee saada lämpötilakerrostumaa siten, että varaajien ollessa ladattuna VA1-varaajan yläosassa on noin 62-asteista vettä. Lämpötilakerrostumisella saadaan parannettua lämpöpumpun hyötysuhdetta. Lämpimän veden kiertojohto kytketään K1 kaukolämpömääräysten ulkoisen lämmönlähteen kytkentämallin mukaisesti. Yleisesti otettava huomioon, että jos kiertojohto kytkettäisiin varaajiin/varaajaan, tulee varaajassa olla erillinen yhde kiertojohdolle varaajan yläosassa. Kiertojohdon liittämällä varaajaan on vaarana, että sekoitetaan varaajan lämpötilakerrostumia. Puskurimallisella varaajalla saadaan vähennettyä lämpöpumpun kompressorin käynnistymiskertoja ja pidennetään näin myös laitteen käyttöikää.

7.4 Aurinkokeräinjärjestelmän mitoitus

Keräimien pinta-ala

Käytän laskennoissa Euro C20 AR-tasokeräintä, kuvassa 37 on esitetty keräimen teknisiä tietoja.

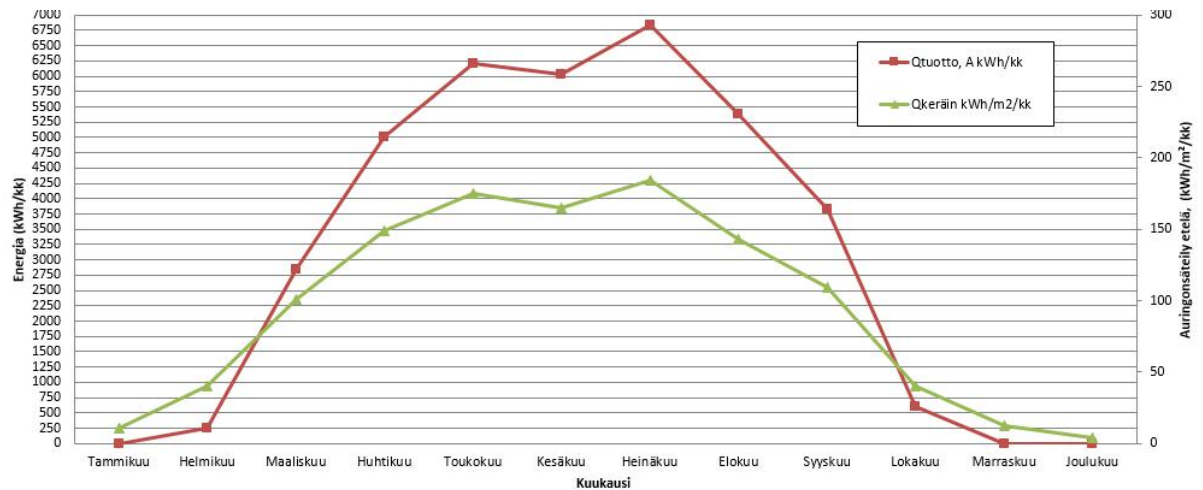
keräin: Euro C20 AR		<u>1. hyötysuhdekaava</u>
valmistaja: Wagner & Co GmbH (Saksa)		$\eta = \eta_0 - k_1 \frac{\Delta T}{E_e} - k_2 \frac{\Delta T^2}{E_e}$
keräintyyppi: tasokeräin		<u>2. neliömetritehokaava</u>
bruttopinta-ala:	2,61 m²	$P = \eta * E_e$
apertuuripinta-ala:	2,37 m²	
absorbaattoripinta-ala:	2,37 m²	<u>3. moduulitehokaava</u>
hyötysuhde η_0:	0,854	$P = \eta * E_e * m^2 \text{ (apertuuripinta-ala)}$
k_1:	3,370 W/m² * K	
k_2:	0,0104 W/m² * K²	
kulmakorjauskerroin: K (50°) = 97%		
lämpökapasiteetti:	4,7 kJ/(m²K)	
testi-instituutti: ISFH		

Kuva 37. Euro C20 AR tekniset tiedot. [16.]

Keräinalan hyvinä mitoitusarvoina voidaan pitää 50–125 litraa lämmintä käyttövettä vuorokaudessa suhteessa yhteen keräin apertuuripinta-alaan nähden. [17.] Kyseisen mitoituksen pohjalta olen määrittänyt keräin apertuuripinta-alaan 80 neliömetriin. Näillä arvoilla saadaan kulutus suhteessa keräinpinta-alaan arvoksi 61,25 litraa keräinneliömetriä kohden.

Energian tuotto

Energian tuoton määrittämiseen olen käyttänyt D5-määrittämää Aurinko opas 2012:n tarkempaa laskentamenetelmää. Keräimien kallistuskulmaksi on määritetty 45 astetta. Kyseinen menetelmä antaa vuotuiseksi energiantuotoksi 36 981 kWh. Esimerkkikohteessa ei ole ympäröiviä varjostuksia ja keräimien suuntaus on etelään. Laskentaan käytti Jouni Rakennuskosken Metropolialle 2014 Yamk-opinnäytetyössään tekemää JR-laskentaohjelmaa. Kuvassa 38 on esitetty punaisella keräinjärjestelmä tuotto kuukausittain sekä vihreällä energiantuotto keräinneliömetriä kohden kuukaudessa. [7].



Kuva 38. Keräinjärjestelmän tuotto kWh/kk ja kWh/m²/kk.

Aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergian kulutus

Keräinpiirin pumpun sähkötehoksi arvioitu 100 W ja pumpun käyntiaikana on käytetty oletusarvoa 2000 tuntia. Kaavan avulla saadaan vuotuiseksi sähköenergian kulutukseksi 200 kWh. Aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen vuotuinen sähköenergia lasketaan kaavan 16 mukaan.

$$W_{aurinko,pumput} = \Sigma(P_{pumppu,i} t_{pumppu,i}) / 1000 \quad (16)$$

$W_{aurinko,pumput}$ on aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergiankulutus, kWh/a

$P_{pumppu,i}$ on yksittäisen pumpun i teho, W

$t_{pumppu,i}$ on pumpun i käyttöaika, h

[13, s. 46].

7.5 Lämpöpumpun mitoitus

7.5.1 Lämpöpumpun malli

Lämpöpumpulla on tarkoitus tuottaa mahdollisimman paljon kiinteistössä kulutetusta lämpimästä käyttövedestä. Koko kiinteistön vuorokauden kulutus lämpimän veden osalta on noin 4900 litraa. Kyseinen vesimäärän lämmittäminen vaatii lämmitysenergiaa noin 275 kWh.

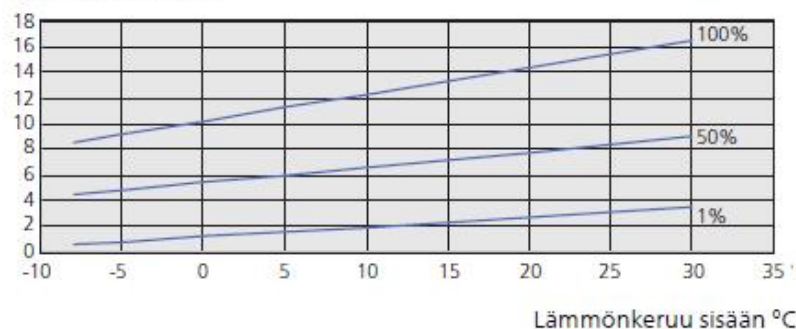
Lämpöpumpun tulee olla invertterimallinen, jolloin kompressorin pyörimisnopeutta saadaan säädettyä kulutuksen ja säätävien arvojen perusteella, muun muassa vaippanesteen lämpötilan.

Mitoittavana tekijänä lämpöpumpun valinnassa on myöskin jätevedestä saatava lämpöteho. Jätevedestä saatava lämpöteho vaihtelee hyvinkin paljon riippuen käyttöveden kuormitustilanteesta, keruupiirin tehokuvaaja on esitetty kuvassa 34.

Niben F1155-12-/lämpöpumpun höyrystinteho 75 %:n kompressorinopeudella vastaa noin 8 kW:a, kun keruunesteen lämpötila on neljä astetta. Kuvassa 39 on esitetty F1155-12:n höyrystystehot kompressorinopeuden ja keruunesteiden lämpötilojen mukaisesti.

F1155-12

Jäähdytysteho, kW



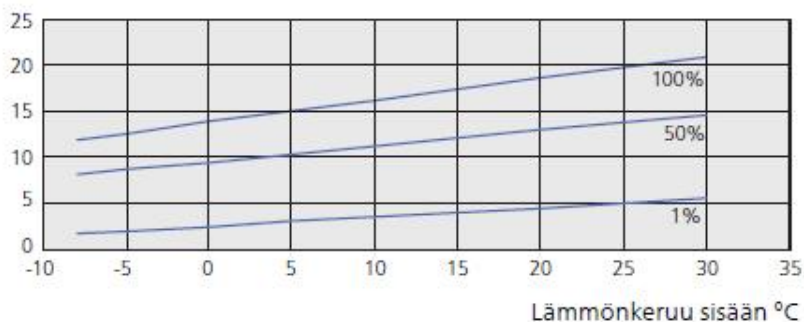
Kuva 39. Höyrystysteho. [18, s.69.]

Lämmitysteho F1155-12-lämpöpumpulla 75 %:n kompressorinopeudella ja keruunesteen lämpötilan ollessa neljä astetta määritetään kuvasta 40, lämmitystehoksi saadaan noin 13 kW.

F1155-12-malli soveltuu suhteellisen hyvin tarkasteltavaan tapaukseen. Pykälää isomalla lämpöpumpulla höyrystintehot kasvavat liian suuriksi ja tällöin keruupiirin lämpötila laskee nopeasti liian alhaisiksi.

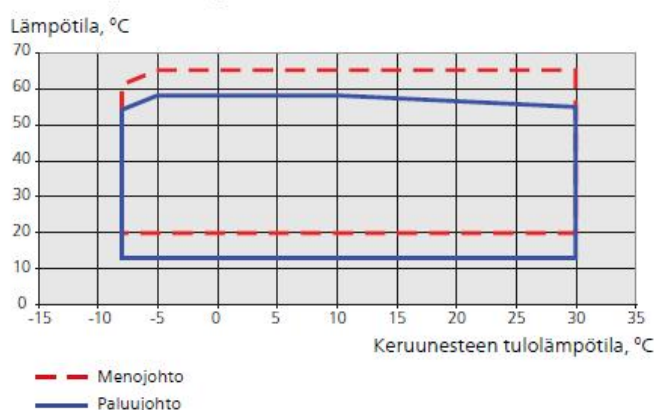
F1155-12

Lämmitysteho, kW



Kuva 40. Lämmitysteho. [18, s.68.]

Lämmitystehoa on mahdollista saada enemmänkin hetkellisesti nostamalla kompressorin pyörimisnopeutta. Diagrammin mukaan täydellä pyörimisnopeudella olisi mahdollista saada tehoa 15 kW. Keruunesteen lämpötila vaikuttaa myös tehontuottoon, esimerkiksi jos keruunesteen lämpötila olisi 15 astetta, saataisiin 13 kW:n teho jo 50 %:n pyörimisnopeudella ja täydellä pyörimisnopeudella noin 17 kW:n teho. Kuvassa 41 esitetty lämpöpumpun kompressorin käyttöalue.



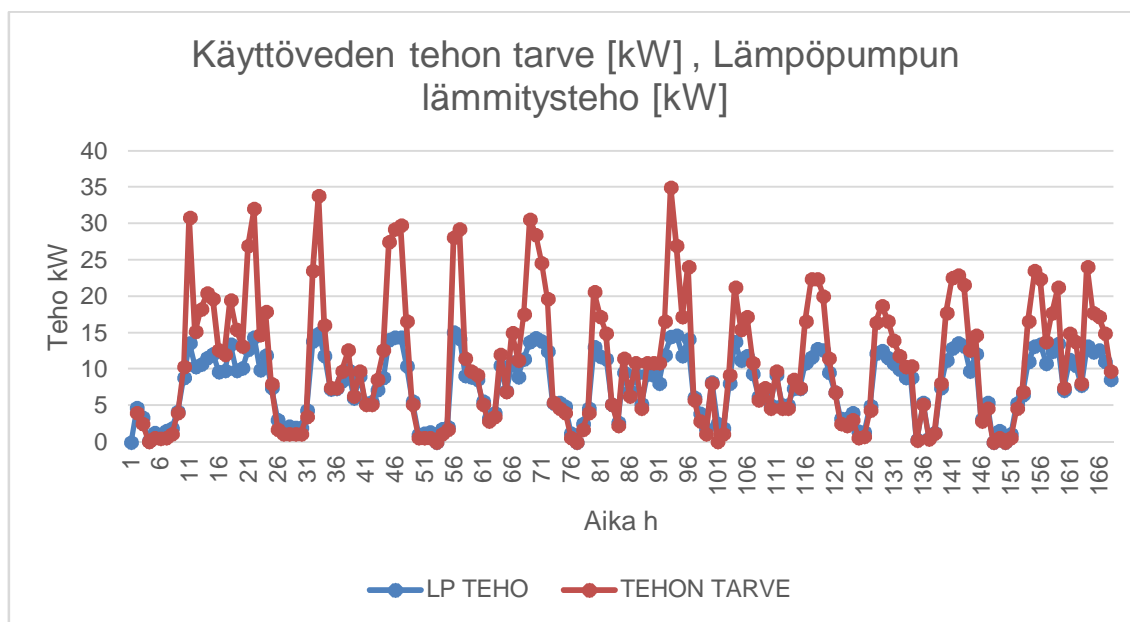
Kuva 41. Kompressorin käyttöalue. [18, s.69.]

7.5.2 Lämpöpumpun energian tuotto ja COP

Lämpöpumpun COP:n määrittämiseen on käytetty COOLPACK-laskentaohjelmaa. Kylmäaineena on käytetty R407C:tä jota käytetään pienissä korkean lämpötilan lämpöpumpuissa. Määritetty COP-arvo on voimassa lämpötilavälillä 40–60 astetta ja keruuliuksen lämpötilalla 4 astetta. COP-arvo vaihtelee osatehoilla huomattavasti, koska säätötapa ja kompressoreiden lukumäärä vaikuttaa lämpökertoimeen.

Lämpöpumpun tuottamaan tehoon vaikuttaa keruupiiristä saatava teho sekä lämpöpumpulta lähtevän veden lämpötila. Lämpöpumpun ja varaajan välisen virtauksen ollessa vakio saadaan tilanne, jossa lämpöpumpun tuottama teho riippuu tulevan nesteen lämpötilasta koska lämpöpumppu nostaa veden lämpötilaa vakio astemäärän. Näin saadaan tilanne, jolloin varaajaveden ollessa kylmempää COP on korkeampi kuin tilanteessa, jolloin varaajaveden lämpötila on korkea. [19.]

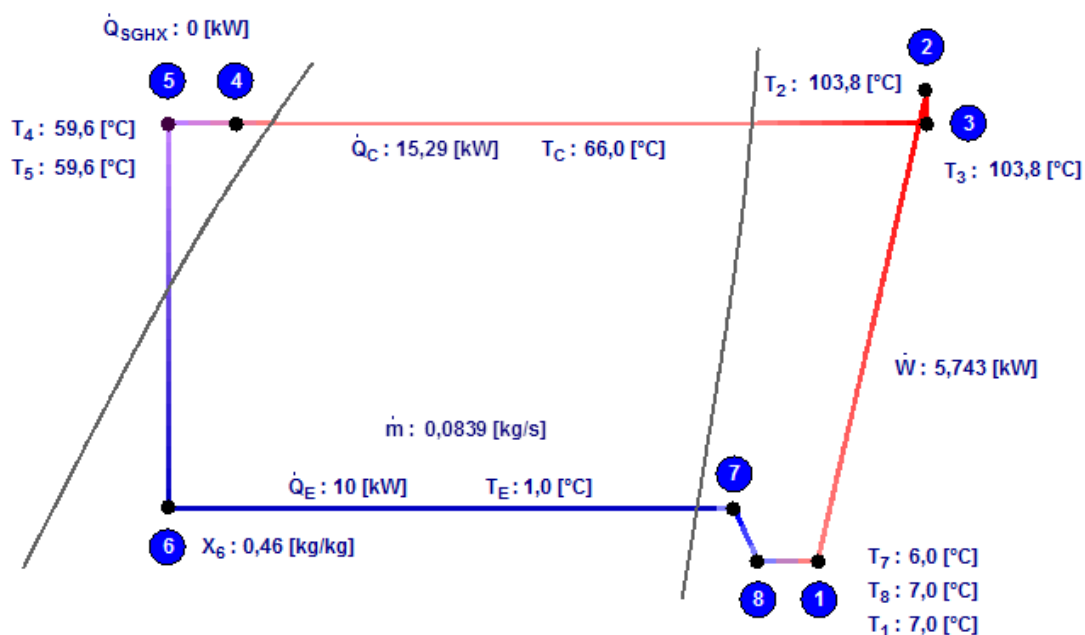
Käyttöveden kuormitustilanne vaikuttaa varaajaveden lämpötilaan, kovan kulutuksen aikana varaajan lämpötila laskee ja lämpöpumpulle tulevan veden lämpötila laskee myöskin. Ison kuormituksen aikana saadaan lämpöpumpun COP isommaksi kuin tilanteessa jossa veden kulutus on vähäistä. Kun kulutus on vähäistä nostaa se varaajien lämpötilaa ja tilanne on päinvastainen jolloin COP-arvo laskee. Käyttöveden tehon tarvetta ja lämpöpumpun tuottamaa tehoa on havainnollistettu kuvassa 42.



Kuva 42. Lämpöpumpun teho ja käyttöveden lämmitystehon tarve.

Lämpöpumpun tehon laskennassa tulee arvioida veden lämpötila varaajan alaosassa. Lineaarisella oletuksella tehontarpeen ollessa 100 % on varaajan alaosan lämpötila 30 °C ja tehontarpeen ollessa 1 % on varaajan alaosan lämpötila 55 °C. Lämpöpumpun nostaessa 10°C lämpöpumpulta lähtevän veden lämpötilaa ovat veden lämpötilat yllä mainituissa kuormitustilanteissa 40 °C ja 65 °C. Näiden arvojen perusteella saadaan määritettyä COP joka korreloi käyttöveden tehon tarvetta. Näillä olettamuksilla määritetty keskimääräinen COP on 3,24. [19.]

Kuvassa 43 on esitetty kylmäaineprosessin tilapisteet tilanteessa jolloin varaajan alaosan lämpötila on 50 °C ja lämpöpumpulta ulos tulevan veden lämpötila 60 °C. Kylmäaineen lauhtumislämpötila on noin 5–6 °C korkeampi kuin ulos tulevan veden lämpötila. Keruuliuksen lämpötilan ollessa 4 °C, tyypillinen höyrystimen asteisuus on noin 3 astetta vähemmän. Lämpöhäviöinä poistuu noin 2–3 %, joka vähennetään lauhduttimesta saatavasta tehosta, joka on veteen siirtyvä teho noin 14,9 kW. Sähköteho 5,74 kW jaetaan lauhdeteholla, jolloin saadaan kyseisessä pisteessä COP-arvoksi 2,59. [19.]



Kuva 43. Kylmäaineprosessin tilapisteet.

Taulukossa 3 on esitetty lämpöpumpun käyttämä sähköenergia, jätevedestä kerätty energia sekä lämpöpumpulla tuotettu lämpöenergia yhden vuoden aikana.

Taulukko 3. Energioiden kulutukset ja tuotot.

Energian kulutukset ja tuotot yhden vuoden ajalta	
Käytetty sähköenergia	21 321 kWh
Tuotettu lämpöenergia	69 105 kWh
Jätevedestä kerätty energia	47 783 kWh
COP	3,24

8 Vaikutukset E-lukuun

Kohteen energiatodistuksen mukainen kaukolämmön ostoenergia lämpimän käyttöveden osalta on 141 144 kWh/vuosi, 40,4 kWh/m². Lämpimän käyttöveden ostoenergian kulutus kaukolämmön osalta mitattujen kulutuslukemien mukaan on noin 118 287 kWh/vuosi, 33,8 kWh/m². Mitattujen kulutuslukemien arvossa on huomioitu E-lukulaskelman mukaisesti siirron, varastoinnin ja kierron kulutukset.

8.1 Aurinkolämpöjärjestelmä

Jäteveden lämmöntalteenotosta hyödyksi saatava lämmitysenergia määritetään kertomalla jäteveden lämmöntalteenoton teho vuorokauden tunneilla, jolloin veden kulutusta on, kerrottuna vuodessa olevilla vuorokausilla. Olen mitoittanut jäteveden lämmöntalteenotosta saatavan tehon valmistajan ohjeiden mukaisesti, sen kokemuksen mukaan kohteissa on yöllä noin kuuden tunnin niin sanottu hiljainen hetki, jolloin kulutusta on hyvin vähän. Tämän johdosta käytetään 18 tuntia 24 tunnin sijasta. Jätevedestä hyödyksi saatava energia on $1,8 \text{ kW} \cdot 18 \text{ h} \cdot 365 \text{ vrk.} = 11\,826 \text{ kWh}$.

Lämmitettyä nettoalaa kohden tämä tekee 3,4 kWh/m², ja nettotarve on tällöin 31,6 kWh/m².

Aurinkolämpöjärjestelmän energian tuotto on 37 110 kWh vuodessa mikä tekee lämmitettyä nettoalaa kohden 10,6 kWh/m². Varastoinnin lämpöhäviö on määritetty D5 taulukon 6.3b mukaisesti, varastoinnin häviöistä tulee 0,6 kWh/m². Aurinkolämpöjärjestelmän pumpun sähköenergian kulutukseksi tulee 0,06 kWh/m², pumpun sähkötehoksi on arvioitu 100 W ja käyttötuntien oletusarvona on käytetty 2000 tuntia.

Alkuperäisestä lämpimän käyttöveden energiankulutuksesta on vähennetty jäteveden lämmöntalteenotolla hyödyksi saatava energia ja aurinkolämmöllä tuotettu osuus ja varastoinnin häviöt ovat summattuna kyseiseen arvoon. E-luku saadaan kertomalla kyseinen luku ostoenergiakertoimella. Aurinkolämpöjärjestelmän pumpun sähköenergian kulutus tulee myös lisätä energiankulutukseen ja kertoa se sähköön ostoenergiakertoimella jolloin saadaan tämän vaikutus myös E-lukuun. Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon pumpun sähköenergia on jätetty vertailulaskelmasta pois, koska sen vaikutus on molemmissa tapauksissa yhtä suuri.

Taulukossa 4 on esitetty jäteveden lämmöntalteenoton ja aurinkolämpöjärjestelmän vaikutukset E-lukuun ennen ja jälkeen, kyseisellä hybridijärjestelmällä saadaan vähennettyä E-lukua 9,3 E-lukuyksikköä.

Taulukko 4. Vaikutukset E-lukuun.

LKV energiankulutus (kaukolämpö)	40,4 kWh/(m ² a)
LKV:n osuus E-luvussa	28,2 kWh/(m ² a)
jätevedestä hyödyksi saatava energia	3,4 kWh/(m ² a)
aurinkolämpöjärjestelmästä saatava energia	10,6 kWh/(m ² a)
aurinkolämpöjärjestelmän pumpun sähköenergian kulutus	0,06 kWh/(m ² a)
aurinkolämpöjärjestelmän varastoinnin lämpöhäviö	0,6 kWh/(m ² a)
LKV energiankulutus (hybridi)	29,96 kWh/(m ² a)
LKV:n osuus E-luvussa	18,9 kWh/(m ² a)
hybridin vaikutus E-lukuun	9,3 kWh/(m ² a)

8.2 Jäteveden lämmöntalteenotto ja lämpöpumppu

Kohteen alkuperäinen lämpimän käyttöveden ostoenergian kulutus kaukolämmön osalta on 141 144 kWh/vuosi energiatodistuksen mukaisesti. Lämpöpumpulla saadaan laskelmien mukaan tuotettua 69 105 kWh lämmitysenergiaa vuodessa, lämpöpumpun keskimääräinen COP oli 3.24. Lämpöpumpulla ei saada tuotettua kaikkea kiinteistön tarvitsemaa lämmitysenergiaa lämpimän käyttöveden valmistukseen. 72 039 kWh lämmitysenergiaa täytyy tuottaa kaukolämmöllä, ja loppuosuus 69 105 kWh tuotetaan lämpöpumpulla. Apulaitteiden sähkön kulutuksen määrittämiseen on käytetty kahta 40 W sähköteholtaan olevaa pumppua. Pumppujen vuotuinen käyttöaika on arvioitu olevan 6048 tuntia vuodessa.

Kyseisellä hybridijärjestelmällä saadaan vähennettyä E-lukua 2,4- yksikköä. Taulukossa 5 on esitetty kyseiset vaikutukset E-lukuihin.

Taulukko 5. Vaikutukset E-lukuun.

LKV energiankulutus (kaukolämpö)	40,4 kWh/(m ² a)
LKV:n osuus E-luvussa	28,2 kWh/(m ² a)
lämpöpumpulla tuotettu lämpöenergia	19,74 kWh/(m ² a)
kaukolämmöllä tuotettu lämpöenergia	20,58 kWh/(m ² a)
apulaitteiden sähköenergian kulutus	0,14 kWh/(m ² a)
aurinkolämpöjärjestelmän varastoinnin lämpöhäviö	0,4 kWh/(m ² a)
LKV energiankulutus (kaukolämpö+sähkö)	27,3 kWh/(m ² a)
LKV:n osuus E-luvussa	25,8 kWh/(m ² a)
hybridin vaikutus E-lukuun	2,4 kWh/(m ² a)

9 Investointikustannukset

Aurinkolämpökytkennässä, jossa tarvitaan erillinen käyttövesikierukka, on Ecowec-hybridisiirtimen hankintakustannus 19 800 € (alv 0 %). Jos aurinkolämpö haluttaisiin vielä kierrättää varaajan jälkeen hybridisiirtimen kautta niin tällöin siirtimeen tarvitaan lisäksi aurinkolämpökierukka joka maksaa 1000 € (alv 0 %). Siirtimen putkikytkennät maksavat noin 1000 € (alv 0 %). Lämpöpumppukytkennällä jää käyttövesikierukka pois ja tällöin hinta on 18 800 € (alv 0 %). Investointikustannukset jäteveden lämmöntalteenoton osalta ovat 19 800 € käyttövesikierukalla tai 18 800 € ilman käyttövesikierukkaa.

Aurinkolämpöjärjestelmän investointikustannus varaajineen on noin 60 000 € (alv 0 %). Varaajien osuus kustannuksista on noin kolme prosenttia aurinkolämpöjärjestelmän investointikustannuksesta. Keräimien osuus on noin 47 %, putkistojen ja asennuksien osuus noin 50 %.

Lämpöpumpun, varaajien, putkikytkentöjen, paisuntaryhmien ja erillisen siirtimen hankintakustannus töineen on noin 12 000 € (alv 0 %).

Taulukossa 6 on esitetty järjestelmien investointikustannukset sekä järjestelmillä saatu vaikutus E-lukuyksiköihin.

Taulukko 6. Investointikustannukset ja E-lukuvaikutukset.

	Investointikustannus alv 0%:a	E-lukuvaikutus kWh/(m ² /a)
jäteveden lto ja aurinkokeräimet	79 800 €	9,3
jäteveden lto ja lämpöpumppu	30 800 €	2,4

10 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli selvittää hybridijärjestelmien hyväksytyt putkikytkennät kaukolämpölaitteistoihin, järjestelmien investointikustannukset sekä järjestelmien vaikutukset E-lukuun. Työssä perehdyin aurinkokeräinjärjestelmän ja jäteveden lämmöntalteenoton hybridijärjestelmään sekä jäteveden lämmöntalteenoton ja lämpöpumpun hybridijärjestelmään.

Hybridijärjestelmillä liityttäessä kaukolämpölaitteistoon ei pystytä kiinteistön omistajan näkökulmasta käyttämään parhaita kytkentöjä, koska nämä vaikuttavat kaukolämpöveden jäähtymään eivätkä ole tällöin lämmönmyyjien osalta hyväksyttävissä. Jäteveden lämmöntalteenoton käyttäminen kylmän veden esilämmittämiseen jota Wasenco Oy:n sivujen mukaisesti kutsutaan suoraksi kytkennäksi on kiinteistön omistajan kannalta järkevä kytkentä vaihtoehto. Tässä kytkennässä kylmävesi menee jäteveden lämmöntalteenoton läpi jonka jälkeen se menee esilämmitettynä käyttövesisiirtimeen. Tiedustelin kahdeksalta lämmönmyyjältä kyseisen kytkennän hyväksyttävyyttä heidän kaukolämpöjärjestelmiinsä ja ainoastaan yksi vastasi myöntävästi.

Jäteveden lämmöntalteenoton ja aurinkolämmön yhdistelmäratkaisulla käyttökelpoinen kytkentä, jonka lämmönmyyjät myös pääsääntöisesti hyväksyvät, on rinnankytkentä. Rakennusten kaukolämmitysmääräykset ja ohjeet-julkaisu K1/2013 esittää rinnakkaislämmön kytkennälle käyttöveteen yhtä kytkentävaihtoehtoa. Tällä kytkennällä esilämmitetään kaukolämmöllä kylmä käyttövesi noin 43...34 asteeseen tilanteessa, jossa rinnakkaisella lämmönlähteellä ei saada tuotettua kaikkea tarvitsemaa lämmitystehoa. Tämä rajoittaa jäteveden lämmöntalteenoton käyttöä, jos rinnalla on aurinkolämpöjärjestelmä. Talviaikana ei jäteveden lämmöntalteenotosta saisi hyödyksi energiaa lainkaan.

Rinnakkaislämmön kytkentä on järkevä siinä tapauksessa, jos jäteveden lämmöntalteenoton rinnalle laitetaan lämpöpumppu. K1:n esittämää kytkentää käytettäessä saadaan varmistettua lämpöpumpun vikatilanteissa lämpimän käyttöveden häiriötön valmistus, joka edesauttaa järjestelmän toimintavarmuutta.

Aurinkolämpöjärjestelmän mitoituksessa käytin D5-määrittämää Aurinko/opas 2012:ta tarkempaa laskentamenetelmää, kyseistä menetelmää käyttämällä saadaan tarkemmin määritettyä aurinkolämpöjärjestelmän tuotot. Keräinjärjestelmän aperture pinta-ala kohteessa oli 80 m². Aurinkolämpöjärjestelmällä ja jäteveden lämmöntalteenotolla saadaan tuotettua noin 42 % vuotuisesta todellisesta lämpimän käyttöveden valmistuksen tarvitsemasta lämmitysenergiasta. E-lukutarkastelussa jossa lämpimän käyttöveden lämmitysenergian osuus määritetään D3-mukaisesti, on vastaava prosenttiosuus tähän lukemaan nähden noin 35 % tarvittavasta lämmitysenergiasta.

Aurinkolämpöjärjestelmän ja jäteveden lämmöntalteenoton hybridijärjestelmällä saadaan tiputettua E-lukua 9,3- yksikköä investointikustannuksien ollessa 78 900 € (alv 0 %).

Jäteveden lämmöntalteenoton ja lämpöpumpun hybridijärjestelmällä saadaan tuotettua 58 % vuotuisesta todellisesta lämpimän käyttöveden valmistuksen tarvitsemasta lämmitysenergiasta. E-lukutarkastelun mukaisella lämmitysenergian tarpeella vastaava prosenttiosuus on 49 %. Lämpöpumpun keskimääriseksi COP-kertoimeksi määrittyi 3,24.

Jäteveden lämmöntalteenoton ja lämpöpumpun hybridijärjestelmän investointikustannukset ovat 30 800 € (alv 0 %), E-lukua saadaan tiputettua 2,4- yksikköä. Lämpöpumppu vaihtoehdossa E-lukuun vaikuttaa sähkön ostoenergiakerroin, joka sähköllä on 1,7. Ostoenergiakertoimesta riippuen on vaikutus E-lukuun pienehkö suhteuttaen energiateitoisuuden sekä tarvittavan ostoenergian määrän.

11 Pohdinta

Työni osoittaa tutkimieni järjestelmien osalta potentiaalin vähentää ostoenergian tarvetta asuinkerrostalossa merkittävästi. Vähän energiaa kuluttavaa rakennus on mielestäni mahdollista saavuttaa nostamatta kokonaiskustannuksia liian korkeiksi investointikustannuksien näkökulmasta. Tutkimani järjestelmät vaatisivat pilottikohteen toteuttamista, jolloin saataisiin mitattua tietoa järjestelmistä ja niiden tuotoista. Yhtenä tärkeänä asiana

näkisin järjestelmien virittämisen. Virittäminen saadaan tehtyä, kun toiminnasta on kokemusperäistä tietoa.

Asuinkerrostalon vedenkulutuksiin löytyy hyviä ohjearvoja mutta tarkkaa kohdekohtaista kulutustietoa ei saada muuten kuin mittaamalla kulutukset kohdekohtaisesti. Uudiskoh-teissa kulutustietoja ei ole saatavilla, työssäni esitetyt tuntiset kulutusprofiilit auttavat myös järjestelmien mitoittamisessa muiden uudiskohteiden osalta.

Wasencon hybridisiirrin mahdollistaa monien eri järjestelmävariaatioiden yhdistämisen laitteistoon. Yhtenä mielenkiintoisena jatkokehittämisen aiheena näkisin keskitetyn il-manvaihdon jäähdytyspatterin liittämisen hybridisiirtimeen lämpöpumppukytkenässä. Lämpöpumppukytkenässä siirtimen vaippaneste on noin neljä asteista jolloin sitä pys-tyttäisiin käyttämään tuloilman viilennykseen. Lämmöntalteenoton säiliön vaippanestee-seen saataisiin myös ladattua lisäenergiaa, joka saadaan käytettyä hyödyksi lämpimän käyttöveden valmistuksessa. Kyseisellä kytkenällä saataisiin viilennys investoinkustan-nuksien kannalta tehokkaasti toteutettua sekä nostettua lämpöpumpun lämpökerrointa korkeammaksi.

Aurinkosähköpaneelien liittäminen jäteveden lämmöntalteenoton ja lämpöpumpun rinnalle olisi myös mielenkiintoista tutkia tarkemmin. Tuotettaessa aurinkosähköpanee-leilla lämpöpumpun tarvitsema sähköenergia, saadaan E-lukuyksiköitä vähennettyä hy-vin merkittävä määrä.

Lähteet

- 1 Ympäristöministeriö. Lähesnollaenergiarakentamisen lainsäädännön valmistelu. Verkkodokumentti. http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Maankayton_ja_rakentamisen_valmisteilla_oleva_lainsaadanto/Lahes_nollaenergiarakentamisen_lainsaadanto. >Luettu 21.8.2016.
- 2 LUONNOS 14.3.2016 Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta. Verkkodokumentti. [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Maankayton_ja_rakentamisen_valmisteilla_oleva_lainsaadanto/Lausuntopyynto_luonnoksesta_hallituksen_\(38540\).](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Maankayton_ja_rakentamisen_valmisteilla_oleva_lainsaadanto/Lausuntopyynto_luonnoksesta_hallituksen_(38540).>Luettu)> Luettu 22.8.2016.
- 3 Rakennusten energiatehokkuus. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 4 Reinikainen, Erja. Loisa, Lassi. Tyni, Anni. 31.3.2015. Finzeb hanke, Lähesnollaenergiarakennuksen käsitteet, tavoitteet ja suuntaviivat kansallisella tasolla, Loppuraportti.
- 5 Vuorenhimo, Niko. 2015. Aurinkolämmitysjärjestelmän hyödyntäminen asuin-kerrostalossa. Insinööritö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 6 Jodat, Timo. 2016. Energiantuotanto uusiutuvilla energialähteillä. Luentokalvo. Espoo, Metropolia YAMK.
- 7 Rakennuskoski, Jouni. 2014. Aurinkolämmityksen tekniikka ja energiatuoton laskenta. Opinnäytetyö YAMK. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 8 Heatex Oy. Verkkodokumentti. <http://heatex.fi/data/documents/Heatex.fi.pdf,>Luettu> 19.11.2016.
- 9 Retherm Energy Systems. Verkkodokumentti. <http://www.retherm.com/HowItWorks.htm.>Luettu> 19.11.2016.
- 10 Wasenco Oy. Verkkodokumentti. <http://www.wasenco.com.>Luettu> 18.8.2016.
- 11 Kaapola, Esko. 2016. Energiantuotanto uusiutuvilla energialähteillä. Luentokalvo. Espoo, Metropolia YAMK.
- 12 Muokattu kuva. Verkkodokumentti. <http://www.dimplex.de/fi/ladattavat/animaatiot.html.>Luettu> 19.9.2016.
- 13 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2013. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 14 Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2013 päivitetty 9.5.2013.
- 15 Pirkanmaan Vedenkäsittely Oy. Verkkodokumentti. <http://pirkanmaanvedenkäsittely.fi/aurinkoenergia/>Luettu> 26.12.2016.

- 16 Energiakauppa. Aurinkokeräimen hyötysuhde ja teho käyrät. Verkkodokumentti. http://www.energiakauppa.com/WebRoot/vilkasfi01/Shops/2014082005/MediaGallery/pdf/Hyotysuhde_ja_tehokayrat_Wagner_Euro_C20AR.pdf.> Luettu 17.8.2016.
- 17 Nieminen, Mikko. 2013. Aurinkolämmityskonsepti käyttöveden lämmityksen suunnitteluun 60-70 lukujen asuinkerrostaloihin. Insinööritoimisto. Mikkelin Ammatti- korkeakoulu.
- 18 Nibe Oy. Asentajan käsikirja. Nibe F1155 Maalämpöpumppu.
- 19 Hänninen, Antti. 2016. Johtava asiantuntija, Sweco Talotekniikka Oy. Helsinki. Sähköpostikeskustelu 17.10.2016-3.1.2017.

